

Identifikation gaspermeabler Störungszonen in
Gebieten aktiver Tektonik (Rheinisches
Schiefergebirge und Amrum) anhand von Helium in
der Bodenluft

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
Dr. rer. nat.

des Fachbereichs
Biologie und Geografie
an der

Universität Duisburg-Essen

vorgelegt von
Jörg Simon

aus Bernkastel-Kues
Essen, Oktober 2007

Die der vorliegenden Arbeit zugrunde liegenden Experimente wurden am Institut für Geographie der Universität Duisburg-Essen durchgeführt.

1. Gutachter: Prof. Dr. U. Schreiber

2. Gutachter: PD Dr. K. Hinzen

Vorsitzender des Prüfungsausschusses: Prof. Dr. W. Kuttler

Tag der mündlichen Prüfung: 20.12.2007

Danksagung

D A N K E !

Die vorliegende Arbeit wäre nicht zustande gekommen, wenn ich nicht breite Unterstützung und Hilfe gehabt hätte.

Bei Herrn Prof. Dr. Ulrich Schreiber möchte ich mich für die interessante Aufgabenstellung und die wissenschaftliche Betreuung bedanken. In vielen Gesprächen und Diskussionen wurden gemeinschaftlich Anregungen gewonnen, die zum Fortgang der Arbeit beigetragen haben. Besonders danken möchte ich ihm für die Unterstützung im Gelände, auch wenn sie mal „etwas länger“ dauerte und nicht immer ohne Verluste abging.

PD Dr. Klaus Hinzen von der Universität zu Köln möchte ich für die kritische Durchsicht der Ergebnisse und für die Bereitstellung der Erdbebendaten danken.

Ein großes **DANKESCHÖN** gilt meiner Freundin Bettina Reuther, ohne deren Unterstützung und Rückhalt alles viel schwerer gewesen wäre. Besonders danken möchte ich Dir für die tatkräftige Unterstützung bei den Korrekturarbeiten.

Bei allen Mitarbeitern der Geologie bedanke ich mich für die sehr gute kollegiale Zusammenarbeit.

Bei Nicole Brennholt bedanke ich mich vor allem für die gute Zusammenarbeit im Rahmen des gemeinsamen Projektes. Ich werde besonders die „Jagd“ im Gelände vermissen!

Mark Schumann danke ich für die ständige Unterstützung im Labor, im Gelände und auf dem Rad.

Peter Janßen und Elena Tatoli danke ich für die anregenden Diskussionen und die wertvolle Unterstützung im Feld.

Anna Bartz und Dennis Diehl danke ich für die tatkräftige Unterstützung während der Messkampagne auf Amrum. Bei Holger Luick möchte ich mich für die Unterstützung während der 24 h Messung im Raum Koblenz bedanken.

Bei dem Revierleiter des Forstreviers Rhens, Herrn Kaul, möchte ich mich für die Bereitschaft bedanken, uns in seinem Revier arbeiten zu lassen und für die eine oder andere interessante Entdeckungsfahrt mit ihm durch sein Revier.

Für die Bereitstellung von Klimadaten möchte ich mich bei Herrn Ohms, Herrn Krienke und dem Fachbereich Angewandte Klimatologie der Universität Duisburg-Essen bedanken.

Herrn Peters möchte ich für die Unterstützung auf Amrum danken.

Bei meiner Familie möchte ich mich für die moralische und finanzielle Unterstützung bedanken, die mir diesen Weg ermöglicht hat.

Ralf Glandien möchte ich für die Bereitschaft danken, sich durch den Buntsandstein und den Ganges zu kämpfen. Dein Kampf hat mir bei der Korrektur weitergeholfen!

Ganz herzlich möchte ich mich bei allen Kollegen, Freunden und Kumpels für die Unterstützung jeglicher Art bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis	12
1 Einleitung	14
2 Untersuchungsgebiete	17
2.1 Raum Koblenz	18
2.1.1 Geografie	18
2.1.1.1 Lage und Orografie	18
2.1.1.2 Vegetation	19
2.1.1.3 Klima	19
2.1.2 Geologie	20
2.1.2.1 Überblick	20
2.1.2.2 Geologische Entwicklung	21
2.1.2.3 Tektonischer Bau der Moselmulde	22
2.1.2.4 Stratigrafie im Bereich des Untersuchungsgebietes Raum Koblenz .	26
2.1.2.5 Verzungen im Rheinischen Schiefergebirge	28
2.2 Amrum	33
2.2.1 Geografie	33
2.2.1.1 Lage und Orografie	33
2.2.1.2 Vegetation	34
2.2.1.3 Klima	35
2.2.2 Geologie	35
2.2.2.1 Überblick	35
2.2.2.2 Geologische Entwicklung	36
2.2.2.3 Stratigrafie und salztektonische Phasen	38
2.2.2.4 Bedeutende überregionale tektonische Elemente	41
3 Methoden	43
3.1 Geländearbeit	43
3.1.1 Kartierung	43
3.1.2 Probenahme	44
3.1.2.1 Probenahme von Gesteinen und Lockersedimenten	44
3.1.2.2 Beprobung der Bodenluft	45
3.1.2.3 Probleme bei der Probenahme	46
3.1.3 Bodenluftanalyse	47

3.1.3.1	Bodenluft und Geogas	47
3.1.3.2	Helium	48
3.1.3.3	Bodenluftanalyse auf Helium	54
3.2	Laborarbeit	61
3.2.1	Probenaufbereitung	61
3.2.2	Röntgenfluoreszenzspektroskopie und Röntgendiffraktometrie	61
3.2.2.1	Elementbestimmung mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA)	61
3.2.2.2	Bestimmung der Mineralzusammensetzung mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie (RDA)	62
3.3	Fehlerbetrachtung	62
3.3.1	Fehlerquellen bei der Probenahme von Bodenluft	62
3.3.2	Fehlerquellen bei der Analyse der Bodenluft	63
3.3.2.1	Durch den Geräteaufbau bedingte Fehler	63
3.3.2.2	Durch den Bediener hervorgerufene Fehler	66
3.3.3	Fehler bei der Probenaufbereitung und der Herstellung von Presstabletten	66
4	Ergebnisse und Diskussion	67
4.1	Raum Koblenz	67
4.1.1	Schichtenfolge	67
4.1.2	Lagerungsverhältnisse der Schichten	71
4.1.3	Tektonische Elemente	73
4.1.3.1	Schieferung und Faltenachsenflächen	74
4.1.3.2	Gangmineralisationen und Vererzungen	74
4.1.3.3	Bewegungsbahnen	79
4.1.4	Helium in der Bodenluft	82
4.1.4.1	Identifikation von Störungszonen anhand von Bodenluftprofilen	82
4.1.4.2	Variationen der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft	86
4.2	Amrum	88
4.2.1	Geologie und Tektonik	88
4.2.2	Heliumkonzentrationen in der Bodenluft	89
4.2.2.1	Identifikation von Störungszonen anhand von Bodenluftprofilen	90
4.2.2.2	Variationen der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft	91
4.3	Weitere Beobachtungen und Ergebnisse	96
4.3.1	Variationen der Heliumkonzentrationen innerhalb sehr kurzer Zeiträume	96
5	Interpretation der Ergebnisse	97
5.1	Störungssysteme	97
5.2	Einflussfaktoren auf die Gaswegsamkeiten	98
5.2.1	Einfluss meteorologischer und lithologischer Faktoren auf die Geogaskonzentrationen in der Bodenluft	99
5.2.1.1	Meteorologische Faktoren	99
5.2.1.2	Lithologische Faktoren	100
5.2.2	Einfluss der Gezeitenkräfte auf die Heliumkonzentrationen in der Bodenluft	101
5.2.2.1	Gezeitenkräfte	101
5.2.2.2	Gezeiten	106

5.2.2.3	Auswirkung der Gezeiten auf die Entgasungsprozesse aus dem Untergrund	108
5.2.3	Störungssysteme als dynamische Systeme	109
5.3	Ausblick	111
6	Zusammenfassung	112
	Literaturverzeichnis	114
A	Anhang (CD)	125
A.1	Aufschlussliste der Kartierung im Untersuchungsgebiet Raum Koblenz	126
A.2	Sondierprofile der Sedimentprofile des Untersuchungsgebietes Amrum	126
A.3	Ergebnisse der Bodenluftmessungen	126
A.3.1	Raum Koblenz	126
A.3.2	Amrum	126
A.4	Ergebnisse der RFA und RDA	126
A.4.1	Raum Koblenz	126
A.4.2	Amrum	126
A.5	Theoretische Gezeitenbeschleunigung	126
A.5.1	Raum Koblenz	126
A.5.2	Amrum	126
A.6	Klimadaten	126
A.6.1	Raum Koblenz	126
A.6.2	Amrum	126

Abbildungsverzeichnis

2.1	Lage der Untersuchungsgebiete Raum Koblenz (UG Raum Koblenz) und Amrum (UG Amrum).	17
2.2	Naturräumliche Gliederung von Rheinland-Pfalz (aus LIEDTKE <i>et al.</i> 1973, verändert).	18
2.3	Für die nähere Umgebung des UG Raum Koblenz vorliegende Arbeiten zum geologischen Aufbau und zur variscischen Tektonik (aus KRÖLL 2001, verändert).	20
2.4	Geologische Stellung des UG Raum Koblenz im regionalgeologischen Rahmen (aus MEYER & STETS 1980 und LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ 2005).	21
2.5	Tektonische Entwicklung des Rheinischen Schiefergebirges vom Tertiär bis Recent (aus SCHREIBER & ROTSCH 1998, verändert).	23
2.6	Übersicht über die Lage der Epizentren im Bereich des UG Raum Koblenz von 1976 bis 2007 (nach HINZEN 2007).	25
2.7	Sedimentationsgeschichte des Rheinischen Schiefergebirges (nach MEYER <i>et al.</i> 1983, verändert).	27
2.8	Entstehung der variscischen Vererzungen (aus KRAHN & BAUMANN 1996, verändert).	29
2.9	Entstehung der postvariscischen Vererzungen (aus KRAHN & BAUMANN 1996).	31
2.10	Naturräumliche Gliederung Schleswig-Holsteins (aus STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN 2003, verändert).	33
2.11	Naturräumliche Gliederung Amrums (aus DEGN <i>et al.</i> 1997).	34
2.12	Salzstrukturen im Untergrund von Schleswig-Holstein (nach ZIEGLER 1990, verändert).	36
2.13	Übersicht über das südliche Permbecken (aus LOTZ 2004, verändert).	37
2.14	Sedimentmächtigkeiten des Permbeckens in Schleswig-Holstein (nach BALDSCHUHN <i>et al.</i> 1996, aus MAYSTENKO 2005, verändert). a) Sedimentmächtigkeiten der postpermischen Sedimente, b) Profil im Bereich des Glückstadt Grabens: C = Karbon, D = Devon, P2 = Zechstein, T = Trias, J = Jura, K = Kreide, Q-Pg = Tertiär und Quartär.	39
2.15	Halokinetische Entwicklung Nordwestdeutschlands (nach MOHR <i>et al.</i> 2005).	41
2.16	Tektonische Elemente der Trans-European Suture Zone (a) und b) aus THYBO 1997, verändert) und schematischer Aufbau der Kruste und des Mantels im Bereich der Trans-European Suture Zone (c) aus BABUŠKA & PLOMEROVÁ 2004, verändert).	42
3.1	Aufbau der Bodenluftsonde BGR mit Aufsatz, Gasfrosch und Schlaghammer.	46
3.2	Beeinflussung der Bodenluft durch oberflächennahe uranreiche Gesteine (aus SCHIFFER 1996, verändert).	48

3.3	Heliumisotopenverhältnisse von Heliumproben unterschiedlicher Herkunft (nach LUPTON 1983, verändert).	50
3.4	Treibende Kräfte verschiedener Transportmechanismen von Edelgasen im Untergrund (aus ETIOPE & MARTINELLI 2002), verändert.	53
3.5	Geogastransport trockener Systeme und Wasser-Gas-Systeme aus dem Untergrund (aus ETIOPE & MARTINELLI 2002, verändert).	53
3.6	Das Arbeitsgerät, ein modifiziertes Heliumlecksuchgerät.	54
3.7	Prinzipskizze der Messanordnung zur Heliumanalyse (links) und Aufbau des Massenspektrometers (rechts).	55
3.8	Abhängigkeit der Leckrate q vom Probenvolumen V_B bei gleicher Heliumkonzentration und $UVC = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$	57
3.9	Abhängigkeit des Verhältnisses Ve_{anz} vom Gesamtdruck $P_G = UVC$ im System bei $V_B = 20 \text{ ml}$ und gleichbleibender Heliumkonzentration.	58
3.10	Änderung des Verhältnisses Ve_{anz} unter Zugabe von Helium in den Probegassstrom bei einer Dauermessung von Atmosphärenluft in Essen und die Änderung des Gesamtdrucks P_G (UVC -Wert) in Abhängigkeit des Luftdrucks.	60
3.11	Abhängigkeit des Verhältnisses Ve_{anz} vom eingegebenen Probenvolumen V_B	63
3.12	Probeneinlass des Messgerätes.	64
3.13	Fehlerdiagramm: Der Fehler gibt die Abweichung der Heliumkonzentration c_B der Bodenluftprobe gegenüber der Heliumkonzentration c_P im Probenvorratsraum an.	65
4.1	Geologische Übersichtskarte des UG Raum Koblenz.	68
4.2	Typische Ausprägung von Kieselgallenschiefer in der Nähe des Vierseenblicks nördlich von Boppard.	70
4.3	Variation der Lagerungsverhältnisse im UG Raum Koblenz.	71
4.4	Schichtung und Schieferung in einem Tonsteinaufschluss mit eingelagerter Siltsteinbank.	72
4.5	Schieferungsflächen, Quarzgänge und aufgeschlossene Störungen im UG Raum Koblenz.	73
4.6	Raumdaten der Schieferungsflächen im UG Raum Koblenz.	74
4.7	Variationen der Quarzmineralisationen im UG Raum Koblenz.	75
4.8	Quarzmineralisationen: a) in Fiederspalt, b) auf Klüften und c) eines verformten schichtparallelen Quarzganges.	76
4.9	Mit Eisenmineralisationen imprägnierter quarzitischer Sandstein im Bereich des Horstkopfes (links) und Faserquarz der Gangmineralisationen im Bereich des Horstkopfes (rechts).	77
4.10	Auftreten von Vererzungen und gut ausgeprägten Quarzmineralisationen.	78
4.11	Verschiedene Bewegungsbahnen in einem Aufschluss mit Spezialfaltung.	79
4.12	Raumdaten der Störungsflächen im UG Raum Koblenz.	80
4.13	Vergleich von postvariscischen Störungszonen (rot) und variscischen Störungszonen von BUDEUS (1988) (blau) und KRÖLL (2001) (braun).	81
4.14	Lage der Probenahmepunkte der 24 h Messung und der Bodenluftprofile im Testgebiet Hünenfeld im UG Raum Koblenz.	82
4.15	Heliumkonzentrationen in der Bodenluft entlang der Profile Testmessung und Hünenfeld 1.	83

4.16	Heliumkonzentrationen in der Bodenluft entlang des Profils Hünenfeld 2.	84
4.17	Heliumkonzentrationen in der Bodenluft entlang des Profils Hünenfeld 3.	85
4.18	Heliumkonzentrationen in der Bodenluft entlang des Profils Hünenfeld 4.	85
4.19	Variation der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft während der 24 h Mes- sung vom 28. auf den 29.09.2007 bei Vollmondkonstellation.	87
4.20	Lage der Dauermessstandorte und Bodenluftprofile im UG Amrum.	88
4.21	Sedimentkern der Sondierung 5 im Bereich von Nebel auf Amrum.	89
4.22	Schematische Skizze der Konzentrationsverteilung von Helium in der Bodenluft über Störungen mit mächtiger und geringer Sedimentüberdeckung nach den Ergebnissen der Messungen auf Amrum und im Raum Koblenz.	90
4.23	Heliumkonzentrationen in der Bodenluft entlang der Profile im UG Amrum. . .	91
4.24	Variation der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft während der 24 h Mes- sung vom 12. auf den 13.10.2006.	92
4.25	Variation der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft während der 10 h Mes- sung am 16.10.2006.	93
4.26	Variation der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft während der 24 h Mes- sung vom 22. auf den 23.10.2006.	94
4.27	Variation der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft während einer Testmes- sung bei Plaidt am 19.06.2007.	96
5.1	Schematische Darstellung des jungen Störungsmusters im Testgebiet Hünenfeld im UG Raum Koblenz.	97
5.2	Die vektorielle Zusammensetzung der Gezeitenbeschleunigung für das System Erde-Sonne (nach WENZEL 1997).	101
5.3	Die gezeitenerzeugenden Kräfte am Beispiel des Mondes (KRUG 1997).	103
5.4	Die Gezeitenwirkung nach der Kugelflächenfunktion (nach MELICHIOR 1968). .	104
5.5	Variation der theoretischen Gezeitenbeschleunigung im Bereich Hünenfeld für das Jahr 2007, berechnet mit der Software T-Soft.	106
5.6	Ausbildung des Gezeitenberges bei einer starren Erde (a)) und Verschiebung des Gezeitenberges aufgrund der elastischen Eigenschaften der Erde (b)) (aus LAMBECK 1980).	107

Tabellenverzeichnis

2.1	Daten vom Deutschen Wetterdienst für die Wetterstation Koblenz Horchheim, 85 <i>m</i> über NN (aus KRÖLL 2001).	19
2.2	Stratigrafische Gliederung im Bereich des UG Raum Koblenz (aus KRÖLL 2001, verändert).	28
2.3	Merkmale variscischer und postvariscischer Mineralisationen (aus REPPKE 1993, verändert).	32
2.4	Daten vom Deutschen Wetterdienst für die Wetterstation List auf Sylt, Höhe 26 <i>m</i> über NN, und Norddorf auf Amrum, Höhe 9 <i>m</i> über NN (Mittelwerte für die Jahre 1961 bis 1990).	35
3.1	Die Zusammensetzung der Atmosphäre unter besonderer Berücksichtigung der Edelgase (aus OZIMA & PODOSEK 1983).	47
3.2	Halbwertszeiten der Mutterisotope von Helium (aus PORCELLI <i>et al.</i> 2002). . .	49
3.3	Die globale Heliumbilanz (aus OZIMA & PODOSEK 1983).	49
3.4	Die Heliumkonzentration in der Atmosphäre.	51
3.5	Diffusionsweiten für Helium in verschiedenen Gesteinen für $t = 4,5 \cdot 10^9$ <i>a.</i> . . .	52
3.6	Fehler für verschiedene Heliumkonzentrationen c_P im Probenvorratsraum. . . .	65
4.1	Vereinfachte stratigrafische Gliederung des UG Raum Koblenz.	67
5.1	Periodizitäten der zur Berechnung der Gezeitenbeschleunigung genutzten Variablen (nach BARTELS 1957). Die Länge der Perioden entspricht dabei Erden-tagen bzw. Erdenjahren.	105
5.2	Überblick über die wichtigsten kurzperiodischen Tiden am Beobachtungspunkt Schiltach (48,3° <i>N</i>) für eine starre Erde (aus WENZEL 1997).	105

Abkürzungsverzeichnis

3He	Stabiles Isotop des Heliums
4He	Stabiles Isotop des Heliums
6Li	Stabiles Isotop des Lithiums
^{219}Rn	Isotop des Radons: Halbwertszeit = 3,96 Sekunden
^{220}Rn	Isotop des Radons: Halbwertszeit = 55,6 Sekunden
^{222}Rn	Isotop des Radons: Halbwertszeit = 3,82 Tage
^{40}K	Isotop des Kaliums: Halbwertszeit = 1,28 Milliarden Jahre
<i>Ar</i>	Argon
Aug.	August
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
<i>BP</i>	Before Present; vor 1950
c_B	Heliumkonzentration in der Bodenluftprobe
c_P	Heliumkonzentration des Luftgemisches im Probenvorratsraum
c_{Atm}	Atmosphärenkonzentration von Helium
CH_4	Methan
CO_2	Kohlendioxid
Dez.	Dezember
E	Ost
<i>Fe</i>	Eisen
Feb.	Februar
$h^{55}64000$	Hochwert
<i>He</i>	Helium
Jan.	Januar
<i>Li</i>	Lithium
mdl. Mitt.	Mündliche Mitteilung
<i>Mn</i>	Mangan
N	Nord
N_2	Stickstoff
NN	Normalnull: Bezugsfläche für Höhenangaben über dem Meeresspiegel
Nov.	November
O_2	Sauerstoff
Okt.	Oktober
P_G	Druck im Gesamtsystem
P_g	Gasdruck
P_k	Kapillardruck
P_w	Hydrostatischer Druck der Wassersäule
P_{atm}	Atmosphärendruck
<i>ppb</i>	parts per billion

<i>ppm</i>	parts per million
<i>q</i>	Leckrate
<i>q_G</i>	Gasstrom im Gesamtsystem
<i>Q_P</i>	Pumpleistung der Hochvakuumpumpe
<i>R</i>	Heliumisotopenverhältnis von ^3He zu ^4He
<i>r³⁴60000</i>	Rechtswert
<i>R_a</i>	Heliumisotopenverhältnis von ^3He zu ^4He der Atmosphäre
RDA	Röntgendiffraktometrie
RFA	Röntgenfluoreszenzspektroskopie
<i>Rn</i>	Radon
S	Süd
<i>SiO₂</i>	Quarz: Silikatmineral
<i>SO₂</i>	Schwefeldioxid
TEF	Trans-European Störungszone
TESZ	Trans-European Suture Zone: Kontinentgrenze von Baltica zu Avalonia
<i>Th</i>	Thorium
<i>U</i>	Uran
UG	Untersuchungsgebiet
UTC	Universal Time Coordinated
<i>UVC</i>	Ultra-Vacuum-Column
<i>V_B</i>	Probenvolumen
<i>V_T</i>	Totvolumen des Probeneinlassraums
<i>V3</i>	Regelventil 3 des Lecksuchgerätes
<i>V4</i>	Regelventil 4 des Lecksuchgerätes
<i>Ve_{anz}</i>	Verhältnis von Leckrate <i>q</i> zu <i>UVC</i> -Wert
W	West

1 Einleitung

Das Rheinische Schiefergebirge ist seit langer Zeit ein Forschungsobjekt, insbesondere die Eifel mit ihrem tertiären und quartären Vulkanismus, wobei die geologische und tektonische Entwicklung im Rheinischen Schiefergebirge nicht mit den letzten Vulkanausbrüchen (Ulmener Maar 11.000 Jahre BP bzw. Laacher See 12900 Jahre BP (LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ 2005)) zum Stillstand gekommen ist. Die junge Dynamik des Rheinischen Massivs und angrenzender Gebiete zeigt sich deutlich in junger Höhenänderung (MEYER & STETS 1998 und HOFFMANN 1996) und seismisch aktiven Verwerfungen (PELZING 1998). Weitere Merkmale der jungen geologischen Entwicklung sind die für das Rheinische Schiefergebirge typischen tertiären und quartären Vulkanfelder (BÜCHEL & MERTES 1982 und MERTES 1983). Als Ursache dieser subrezent bis rezenten Erscheinungen wird schon von CLOOS (1939), später auch von ILIES & BAUMANN (1982), NEUGEBAUER (1989), ZIEGLER (1994), SCHREIBER & ROTSCH (1998) und REGENBAUER-LIEB (1999) kontinentales Rifting (Mitteleuropäisches Riftsystem) angeführt. Die Stellung des Rheinischen Schiefergebirges in der zeitlichen Entwicklung des Mitteleuropäischen Riftsystems sowie die Vorhersage zukünftiger Rifting-Prozesse und deren Folgen stellen teilweise noch ungelöste Probleme dar. Nach dem Modell von SCHREIBER & ROTSCH (1998) vollzieht sich die Öffnung der Niederrheinischen Bucht mit einer im Uhrzeigersinn gerichteten Rotation des rechtsrheinischen Schiefergebirges. Dieses Modell fordert eine Vielzahl von Blattverschiebungen, die die Bewegungen in der Kruste ausgleichen. Im rechtsrheinischen Schiefergebirge werden NW-SE streichende sinistrale, im linksrheinischen Schiefergebirge WNW-ESE verlaufende dextrale Blattverschiebungen gefordert. Untersuchungen von GRÜNTAL & TROMAYER (1992) und MÜLLER *et al.* (1997) weisen auf ein dichtes Bruchmuster variscischer bis junger Störungssysteme im Rheinischen Schiefergebirge hin. Rezente Bewegungen entlang N-S, E-W und SW-NE streichender Störungen führen zu offenen Störungssystemen mit erhöhter Permeabilität (GRIESHABER *et al.* 1992 und MAY 2002), wobei eine Vielzahl der Störungen durch Mineralisation verheilt ist. Untersuchungen zur Genese und Alter der Gangmineralisationen wurden von REPPKE (1993), KIRNBAUER & SCHNEIDER (1998), KRAHN & BAUMANN (1996) und JOCHUM (2000) durchgeführt. Demnach kann zwischen variscischen und postvariscischen Mineralisationen unterschieden werden.

In der Osteifel und am Mittelrhein lässt die Anordnung von Epizentren SE-NW streichende Störungssysteme vermuten (AHORNER 1975, 1983 und LEYENDECKER 1986). Besonders aktiv ist die Ochtendunger Störung am Westrand des Neuwieder Beckens. Alle Daten der rezent in der Eifel

auftretenden Erdbeben werden von der Erdbebenstation Bensberg der Universität zu Köln im Internet zur Verfügung gestellt (HINZEN 2007).

Der junge alkalische Vulkanismus des Rheinischen Schiefergebirges begann im Eozän und reichte mit Unterbrechungen bis ins Quartär (LIPPOLT 1983, MÜLLER-SOHNUS 1993). Im Tertiär lagen die Eruptionszentren im Siebengebirge und Westerwald mit der Hauptaktivität im Oberoligozän/Untermiozän sowie in der Hocheifel mit der Hauptaktivität im Eozän und Oligozän (MÜLLER-SOHNUS *et al.* 1989). Mit Beginn der starken Hebung des Rheinischen Massivs im Pleistozän setzte der Vulkanismus wieder ein (MERTES & SCHMINKE 1983 und SCHNEPP & HARADETZKY 1994). Die Eruptionszentren des Eifelvulkanismus treten in NW-SE verlaufenden Vulkanfeldern auf, wobei die Vulkane nach SE hin jünger werden. MERTES (1983) zeigt, dass der Vulkanismus der Eifel ein Teilprozess der überregionalen Dynamik des Mitteleuropäischen Riftsystems ist. Die Arbeiten im Rahmen des Eifelplume Projektes deuten auf einen Mantelplume als Auslöser des Vulkanismus hin (RITTER *et al.* 2001).

MÖBUS (1996) stellt außerhalb des Rheinischen Schiefergebirges im südlichen Ostseeraum eine Richtungsanalyse tektonischer Elemente im Quartär dar. Aus diesen Ergebnissen lässt sich vermuten, dass das von SCHREIBER & ROTSCH (1998) postulierte Störungssystem auch weit außerhalb des Rheinischen Massivs angetroffen werden kann.

Zielsetzung:

Es stellte sich die Frage, ob sich das von SCHREIBER & ROTSCH (1998) postulierte Störungssystem auch im Bereich des linksrheinischen Schiefergebirges nachweisen lässt. Voruntersuchungen im Bereich von Ahrweiler lassen dies vermuten. Nach diesen ersten positiven Ergebnissen war das Ziel, herauszufinden, ob es sich bei diesem Störungssystem um ein überregionales System handelt. Als Arbeitsgebiet wurde ein Gebiet südlich von Koblenz am Mittelrhein gewählt.

Zunächst wurden potentielle rezent aktive Störungszonen im Untersuchungsgebiet aufgenommen. In großen Teilen des Untersuchungsgebietes werden die Störungszonen jedoch von Lockersedimenten und Boden überdeckt. Da bei den rezent aktiven Störungen davon ausgegangen wird, dass sie Permeabilitätszonen in den Untergrund darstellen (SCHIFFER 1996), wurde an der Universität Duisburg-Essen ein Verfahren eingeführt, mit dem durch Bodenluftmessungen überdeckte Störungen im Untergrund nachgewiesen werden können. Als geogenes Tracergas wurde Helium (He) genutzt, um aus dem Untergrund aufsteigende Geogase nachweisen zu können (GREGORY & DURANCE 1985 und HERMANSSON *et al.* 1991). Dabei weisen erhöhte Geogaskonzentrationen in der Bodenluft auf tief in die Erdkruste reichende Störungszonen hin.

Es wurden Bodenluftproben entlang von Profilen genommen, um Geogase in der Bodenluft zu analysieren. Zur Probenahme der Bodenluft wurde zunächst ein von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) entwickeltes Verfahren angewendet, das im weiteren Verlauf der Untersuchungen modifiziert wurde. Die Heliumgesamtkonzentrationen in den Bodenluftpro-

ben wurde mit einem Massenspektrometer bestimmt.

Um zu untersuchen, ob gasführende Störungen mit diesem Verfahren auch in Gebieten mit mächtiger Sedimentüberdeckung nachgewiesen werden können, wurde im Oktober 2006 eine Messkampagne auf der Nordseeinsel Amrum durchgeführt. Damit sollte eine im Bereich von Amrum auftretende Störungszone (THYBO 1997) und durch halokinetische Bewegungen (WEBER 1977) entstandene Bruchstrukturen detektiert werden. Bei diesen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die Heliumkonzentrationen über die Zeit variieren und, dass diese Variationen im Zusammenhang mit den Erd- und Ozeangezeiten stehen.

2 Untersuchungsgebiete

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Gebiete untersucht (vgl. Abbildung 2.1), wobei das Hauptuntersuchungsgebiet bei Koblenz (Rheinland-Pfalz) liegt (UG Raum Koblenz). Die dort durchgeführten Untersuchungen begannen im Juni 2004. Voruntersuchungen in der näheren Umgebung des Hauptuntersuchungsgebietes wurden im Jahr 2003 von Dipl.-Geol. LASSLO BECKMANN im Bereich Ahrweiler und von Dipl.-Geol. SARAH NORBISLAT im Westerwald durchgeführt. Nach ersten Ergebnissen für den Raum Koblenz wurde im Oktober 2006 eine mehrwöchige Geländekampagne auf der Nordseeinsel Amrum als Referenzgebiet durchgeführt (UG Amrum).



Abbildung 2.1: Lage der Untersuchungsgebiete Raum Koblenz (UG Raum Koblenz) und Amrum (UG Amrum).

2.1 Raum Koblenz

2.1.1 Geografie

2.1.1.1 Lage und Orografie

Das ca. 80 km^2 große Hauptuntersuchungsgebiet liegt in Rheinland-Pfalz im Mittelrheingebiet südlich von Koblenz und wird aus geografischer Sicht dem Rhein-Hunsrück (Abbildung 2.2) und dem Mittelrheintal zugeordnet. Das Untersuchungsgebiet ist auf der amtlichen Karte L 5710 Koblenz enthalten.



Das UG Raum Koblenz ist rot hinterlegt.

Abbildung 2.2: Naturräumliche Gliederung von Rheinland-Pfalz (aus LIEDTKE *et al.* 1973, verändert).

Die südliche Grenze des Untersuchungsgebietes verläuft in etwa auf der Höhe des Hochwertes $h^{55}64000$ von Bornhofen nach Buchholz, die nördliche Grenze von Lahnstein über Schüllerhof nach Niederfell in etwa entlang des Hochwertes $h^{54}73000$. Die Autobahn A61 bildet die westliche Grenze des Arbeitsgebietes. Nach Osten wird das Gebiet durch den östlichen Blattrand der TK 50 Koblenz begrenzt, der dem Rechtswert $r^{34}06000$ entspricht. Das gesamte Areal wird durch den Rhein, der in SE-NW Richtung das Arbeitsgebiet quert, in einen links- und rechtsrheinischen Bereich untergliedert. Die Mosel verläuft in NE-SW Richtung nördlich des Untersuchungsgebietes, ohne dieses zu durchqueren.

An die Haupttäler des Rheins und der Mosel schließen sich Hochplateaus an, in die sich die Zuflüsse der Mosel und des Rheins als Kerbtäler eingeschnitten haben und die Plateaus stark

untergliedern. Die rezenten Flusstäler von Rhein und Mosel bilden mit Höhen von etwa 70 m über NN die tiefsten Bereiche des Untersuchungsgebietes. Die Hochplateaus mit Höhen von 360 m bis 400 m über NN fallen zum Rhein hin leicht ab. Auf den Hochflächen lassen sich Härtlingsrücken erkennen, die in NE-SW Richtung verlaufen und von der Lithologie abhängig sind. Die höchste morphologische Erhebung innerhalb des Untersuchungsgebietes ist der innerhalb eines solchen Höhenrückens liegende Horstkopf mit einer Höhe von 463,4 m über NN.

2.1.1.2 Vegetation

Die Vegetation ist überwiegend durch land- und forstwirtschaftliche Nutzung geprägt. Auf den Hochflächen werden die Freiflächen vor allem als Weide- und Ackerbauflächen genutzt. Im Bereich der Bach- und Flusstäler liegen Waldflächen. Die natürlich vorkommenden Wälder sind Eichenwälder (mdl. Mitt. KAUL 2005). Auf den forstwirtschaftlich genutzten Flächen finden sich überwiegend Fichtenbestände und Mischwaldbestände von Eichen und Fichten. An den Steilhängen des Rheins liegen Weinbauflächen, die zunehmend brach liegen und stark der Verbuschung unterliegen. Im engen Rheintal werden die früher teilweise als Ackerflächen genutzten Talflächen heute überwiegend als Wohngebiete genutzt.

2.1.1.3 Klima

Das Klima des Mosel- und Rheintals unterscheidet sich stark vom atlantisch geprägten Klima der Mittelgebirge (LIEDTKE *et al.* 1973). In den engen Flusstälern bilden sich niederschlagsarme und warme Mikrokimate aus, von denen der Weinbau profitiert. Das Untersuchungsgebiet liegt im Bereich des niederschlagsarmen und warmen kontinentalen Klimas der Becken und Talzüge. Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge im Rheinhunsrück liegt bei 400 mm bis 700 mm, wobei die Niederschläge überwiegend im Sommer fallen. Die Winter hingegen sind relativ kalt und trocken. Die jährliche Temperaturschwankung wird von LIEDTKE *et al.* (1973) mit 17 °C bis 19 °C angegeben. Der DEUTSCHE WETTERDIENST TRIER gibt für das Untersuchungsgebiet eine Jahresdurchschnittstemperatur von ca. 10 °C an (KRÖLL 2001) (vgl. Tabelle 2.1) .

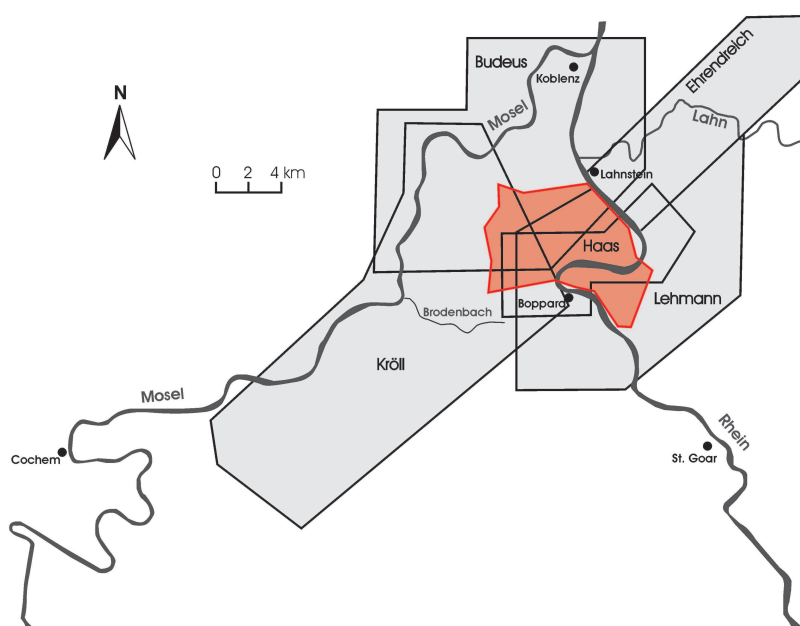
Tabelle 2.1: Daten vom Deutschen Wetterdienst für die Wetterstation Koblenz Horchheim, 85 m über NN (aus KRÖLL 2001).

Jahr	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahresmittel
Durchschnittliche Temperaturen in °C													
1961-1990	2,2	3,1	6,1	9,7	14,2	17,3	18,9	18,4	15,2	10,9	6,0	3,2	10,4
Durchschnittliche Niederschlagsmenge in mm													
1961-1990	43,3	37,2	46,2	51,0	60,3	77,6	81,0	69,9	50,5	51,7	56,1	50,0	674,8

2.1.2 Geologie

2.1.2.1 Überblick

Über das Arbeitsgebiet und die nähere Umgebung sind umfangreiche Arbeiten bekannt, wobei die Arbeiten von EHRENDREICH (1958), LEHMANN (1959), HAAS (1975), BUDEUS (1988) und KRÖLL (2001) das komplette Untersuchungsgebiet abdecken (vgl. Abbildung 2.3).

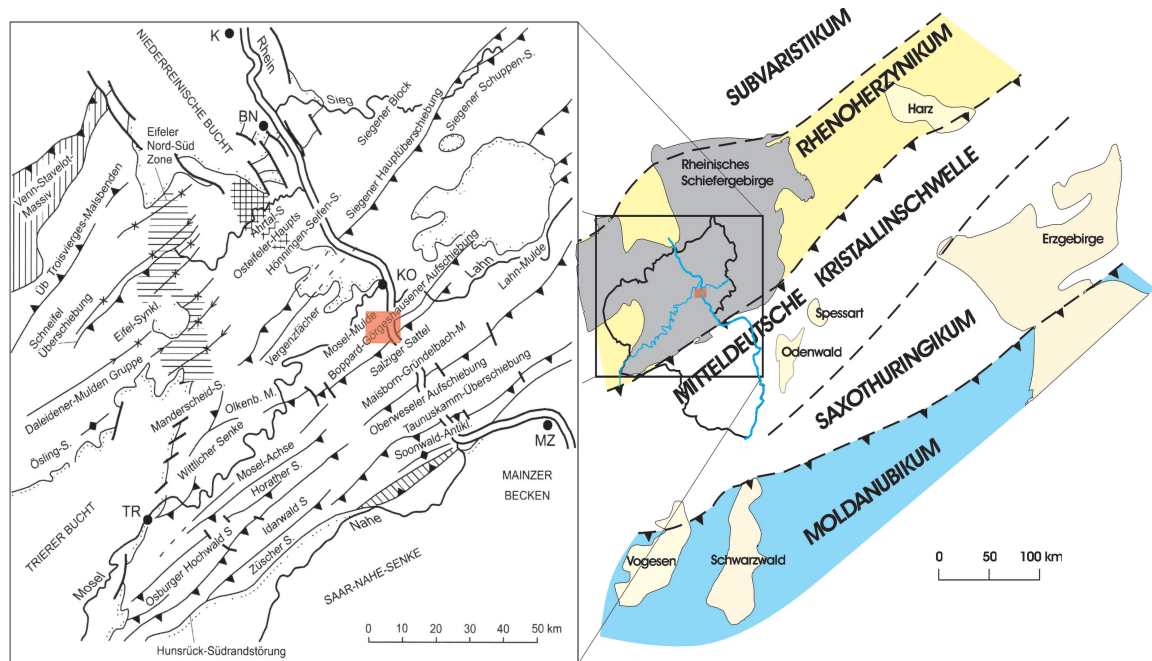


Das UG Raum Koblenz ist rot hinterlegt.

Abbildung 2.3: Für die nähere Umgebung des UG Raum Koblenz vorliegende Arbeiten zum geologischen Aufbau und zur variscischen Tektonik (aus KRÖLL 2001, verändert).

Geologisch wird das Arbeitsgebiet dem Rheinischen Schiefergebirge (vgl. Abbildung 2.4) zugeordnet. Es liegt in der linksrheinischen geologischen Einheit der Moselmulde, die dem erzgebirgischen Streichen folgend in NE-SW Richtung verläuft. Südwestlich des Untersuchungsgebietes senkt sich im Verlauf von Wittlich nach Trier die Wittlicher Rotliegendensenke in die Moselmulde ein, an die sich im Südwesten die mesozoischen Ablagerungen der Trierer Bucht anschließen (vgl. Abbildung 2.4). Auf der rechtsrheinischen Seite findet die Moselmulde ihre Fortsetzung in der Dillmulde. Der Übergangsbereich von Mosel- zur Dillmulde wird von tertiären Tonen und Basaltdecken des Westerwaldes überdeckt (BUDEUS 1988).

Die Breite der Moselmulde wird in der Literatur unterschiedlich gefasst. Nach KEINOW (1933) erstreckt sich die Moselmulde vom Siegener Sattel bis zum Taunus. Nach FOLLMANN (1921) wird die räumliche Ausdehnung der Moselmulde mit dem Auftreten der Koblenzschichten begrenzt, die eine in sich mehrfach zusammengestauchte Mulde bilden. JENTSCH (1960) grenzt die Mo-



Das UG Raum Koblenz ist rot hinterlegt.

Abbildung 2.4: Geologische Stellung des UG Raum Koblenz im regionalgeologischen Rahmen (aus MEYER & STETS 1980 und LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ 2005).

selmulde auf das Gebiet der Boppard-Montabaur Doppelmulde ein. Nach BUDEUS (1988) und KRÖLL (2001) wird die Moselmulde durch die Siegener Hauptaufschubung und das Manderstheimer Antiklinorium im Norden und die Boppard-Görgeshauser Überschiebung (früher Boppard-Dausenauer Überschiebung) im Süden begrenzt (vgl. Abbildung 2.4).

2.1.2.2 Geologische Entwicklung

Entwicklung im Paläozoikum

Das Rheinische Schiefergebirge wird nach KOSSMAT (1927) dem Rhenohertzynikum zugerechnet, einer Einheit der Mitteleuropäischen Varisciden. Heute werden die in Abbildung 2.4 dargestellten Einheiten der Varisciden als Mikroplatten des Südkontinents Gondwana gedeutet. Im Zuge des stückweisen Zerfalls von Gondwana trennten sich die Mikroplatten Armorica und Avalonia im Ordovizium von diesem Südkontinent. Im späten Ordovizium wurde zunächst Avalonia an Baltica angelagert. Als dieser Mikrokontinent im mittleren Silur mit Laurentia kollidierte (kaledonische Orogenese), entstand Laurussia. An der Grenze Silur/Devon wurde Armorica im Bereich des ehemaligen Mikrokontinents Baltica an Laurussia angelagert. Die Kollision von Laurussia mit Gondwana, die im Oberdevon begann und bis ins Oberkarbon reichte, führte zur Bildung

des Superkontinents Pangäa (variscische Orogenese) mit einem breiten Falten- und Überschiebungsgürtel, dessen tektonische Deformationsfront bis ins heutige Nordseebecken nachweisbar ist (ZIEGLER 1990). Die Faltenstränge, die Hauptschieferung und die Überschiebungszonen verlaufen in NE-SW Richtung und der für das Variscium typische strukturelle Bau des Rhenoharzynikums weist vorwiegend NW vergenten Faltenbau und SE einfallende Hauptüberschiebungen auf.

Postvariscische Entwicklung

Im Anschluss an die variscische Orogenese unterlag die gefaltete Kruste epirogenetischen Bewegungen, die bis ins Rotliegende (Perm) anhielten (KRÖLL 2001). Es kam zur Bildung von Schwellenregionen und intramontanen Becken. Infolgedessen sank die Mitteldeutsche Kristallinschwelle ab und bildete die Grundlage der Saar-Nahe-Senke. Ein weiteres, der variscischen Streichrichtung (NE-SW Richtung) folgendes Becken ist die Wittlicher Rotliegenden Senke. In den Rotliegenden Becken lagerten sich die Molassesedimente des Rheinischen Schiefergebirges ab. Im Oberrotliegenden (Saxon) setzte eine verstärkte Hebung ein, die mit effusivem Vulkanismus saurer und basischer Laven einherging (SCHÄFER 1989). Noch im Buntsandstein war das Rheinische Schiefergebirge ein Hochgebiet mit kontinentalen Ablagerungsbedingungen. Im mittleren Buntsandstein entstand mit der Eifeler Nord-Süd-Zone eine Senkungszone, während das Untersuchungsgebiet weiterhin auf dem Hochgebiet der Rheinischen Insel lag (MEYER & STETS 1996). Der zentrale Bereich des Rheinischen Schiefergebirges blieb vermutlich bis zur Kreide weitgehend landfest und wurde weiter abgetragen. Am Ende der Kreide war das Relief des Rheinischen Schiefergebirges ausgeglichen (MEYER 1994). Im Tertiär änderte sich die Hauptspannungsrichtung σ_{1h} von einer NNE-SSW Richtung über eine NNW-SSE Richtung bis hin zu einer NW-SE Richtung ($\sigma_{1h} = 140^\circ \pm 20^\circ$) (AHORNER 1975). Diese Änderung wurde durch die Öffnung des Nordatlantiks und der Plattenkollision im Mittelmeerraum (alpidische Orogenese) begleitet. Durch die alpidische Orogenese kam es zur Hebung des Rheinischen Schiefergebirges und zur Ausbildung eines neuen Störungssystems in Zentraleuropa. Die Entstehung des Oberrheingrabens als sinistrales Blattverschiebungssystem und die V-förmige Öffnung der Niederrheinischen Bucht sind nach SCHREIBER & ROTSCH (1998) ein Resultat dieser Entwicklung (vgl. Abbildung 2.5). Als Auslöser der jungmesozoisch-känozoischen Bewegung nehmen NEUGEBAUER *et al.* (1983) einen Manteldiapir unterhalb des Eifel-Hunsrück-Gebietes an, der neben der verstärkten Hebung auch den tertiären und quartären Vulkanismus ausgelöst haben soll.

2.1.2.3 Tektonischer Bau der Moselmulde

Die bisherigen Untersuchungen zum tektonischen Bau der Moselmulde beschränken sich auf die variscische Entwicklung. Nach GASSER (1978), SCHEIVENBUSCH (1992) und WILDBERGER (1992) wird die durch die variscische Orogenese hervorgerufene Hauptspannungsrichtung mit 150° (SE-

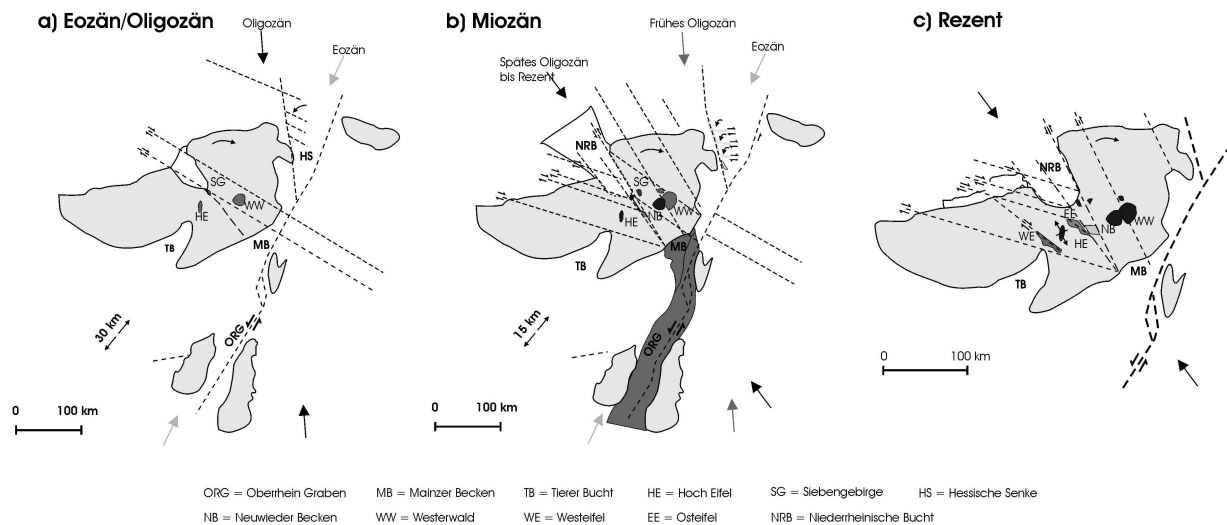


Abbildung 2.5: Tektonische Entwicklung des Rheinischen Schiefergebirges vom Tertiär bis Rezent (aus SCHREIBER & ROTSCH 1998, verändert).

NW) angegeben. Sie wurde jedoch wegen der lithologischen Kontraste der abgelagerten Schichten im Rheinischen Schiefergebirge gebietsweise abgelenkt. Untersuchungen von QUIRING (1939), GASSER (1978), ONCKEN (1989), SCHEIVENBUSCH (1992) und WILDBERGER (1992) zeigen sowohl NW vergenten als auch überkippten SE vergenten Faltenbau der Moselmulde auf, wobei in einigen Bereichen der Faltenbau in den Hintergrund und Schuppenbau in den Vordergrund tritt. Dieser Schuppenbau wird durch SE einfallende Auf- und Überschiebungen und NW einfallende Abschiebungen charakterisiert. Beispielsweise werden die Abschiebungen im Vorfeld der Mander-scheider Schwelle als ehemals nach SE einfallende Aufschiebungen gedeutet. Diese treten heute als rotierte NW einfallende Abschiebungen in Erscheinung (KRÖLL 2001). In solchen Gebieten findet sich eine gegenläufige SE Vergenz. Nach BUDEUS (1988) treten zu diesen Auf- und Abschiebungen gehäuft Querstörungen auf. Die Deutung des komplexen Aufbaus der Moselmulde wird bis heute kontrovers diskutiert (BUDEUS 1988, ONCKEN 1989 und KRÖLL 2001).

Die junge Dynamik der Moselmulde und des Rheinischen Schiefergebirges zeigt sich vor allem in Höhenänderungen. Zur Bestimmung der Hebungsbeträge einzelner Blöcke wird die Lagehöhe der jüngeren Hauptterrassen gegenüber der Höhenlage der heutigen Talsohle dargestellt (HOFFMANN 1996). Untersuchungen von PLOSCHENZ (1994) zur quartären Vertikaltektonik erfassen den östlichen Randbereich des Untersuchungsgebietes.

Im Bereich der Eifelvulkane kann die junge Dynamik auch am quartären Vulkanismus und seinen Begleiterscheinungen (z. B. Entgasungen) nachgewiesen werden. Für den Bereich der Westeifel liegt eine Zusammenfassung aller vermuteten jungen tektonischen Elemente von MAY (2002) vor, die auf Untersuchungen von CO_2 -Entgasungen basiert. Zusätzlich können seismotektonische Erscheinungen, wie sie unter anderem von AHORNER (1983) und HINZEN (2003) beschrieben werden, zur Untersuchung der jungen Dynamik genutzt werden. Im Gebiet des Neuwieder Beckens treten

immer wieder leichte Erdbeben auf (vgl. Abbildung 2.6). Seit Januar 1977 wurden dort von der Erdbebenstation Bensberg 430 Erdbeben aufgezeichnet (mdl. Mitt. HINZEN 2006). Dies ist ein Indiz für die rezent aktive Tektonik im Rheinischen Schiefergebirge. Das deutlichste Anzeichen in jüngster Zeit für die tektonische Aktivität im Bereich Plaidt ist das Erdbeben in Plaidt vom 03.08.2007 um 02:58 Uhr (*UTC*) mit einer Lokalmagnitude von 3.9 (RICHTER) mit zahlreichen schwachen Nachbeben (HINZEN 2007).

Eine Beeinflussung des jungen Störungsmusters durch die variscischen tektonischen Elemente ist wahrscheinlich und kann somit auch für das Untersuchungsgebiet angenommen werden. Aus diesem Grund ist es nicht sinnvoll, die variscischen und postvariscischen tektonischen Elemente getrennt voneinander zu betrachten.

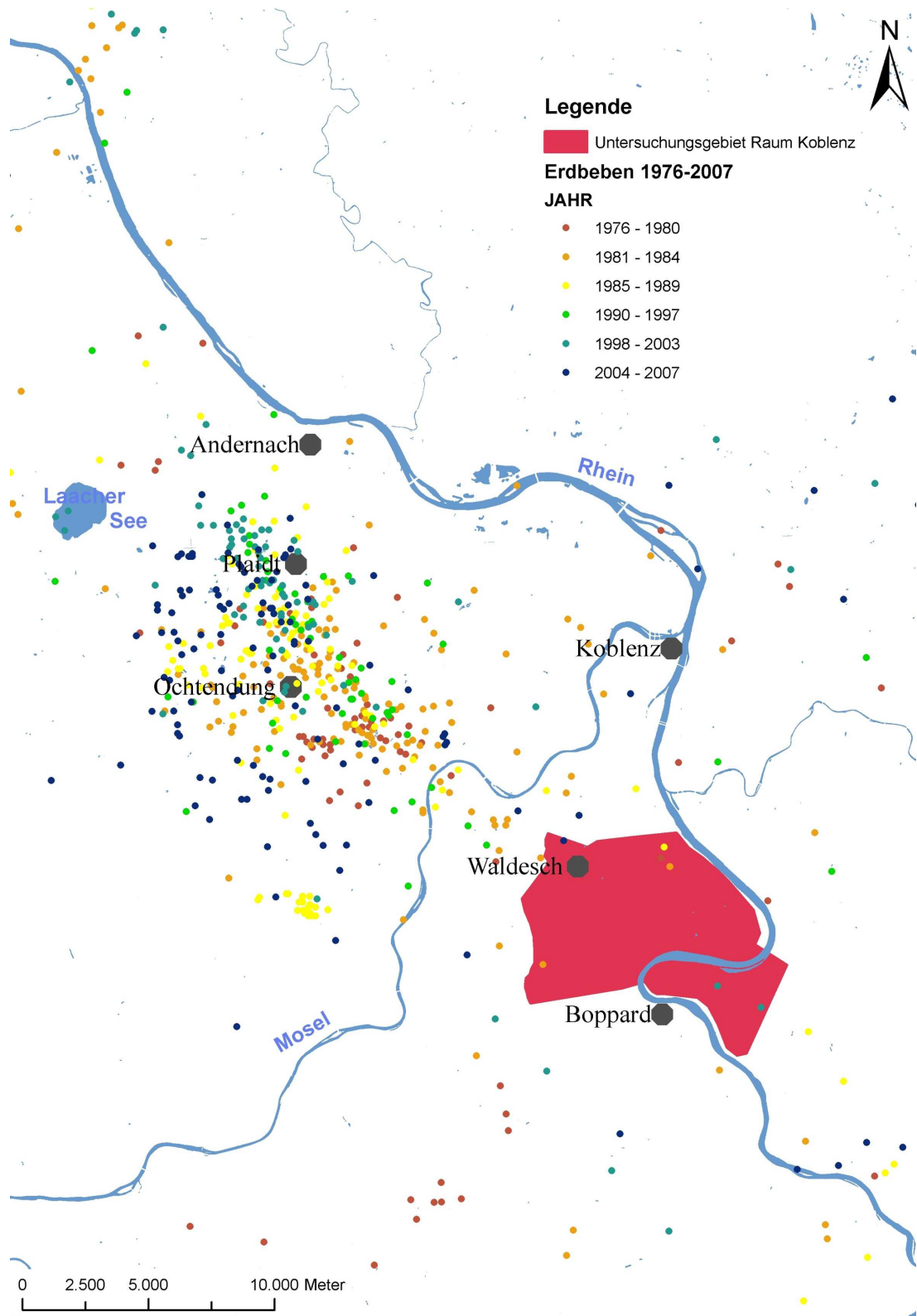


Abbildung 2.6: Übersicht über die Lage der Epizentren im Bereich des UG Raum Koblenz von 1976 bis 2007 (nach HINZEN 2007).

2.1.2.4 Stratigrafie im Bereich des Untersuchungsgebietes Raum Koblenz

Sedimentationsgeschichte im Paläozoikum

Durch die NW-SE gerichtete Dehnung der Erdkruste nach dem Abschluss der kaledonischen Orogenese bildete sich an der Wende Silur/Devon die variscische Geosynklinale als Sedimentationsraum aus. Die Mitteldeutsche Schwelle teilte diesen Sedimentationsraum in zwei Großbecken. Das Untersuchungsgebiet liegt im nördlichen Großbecken, dem Rheinischen Trog. Die Sedimentationsgeschichte des Rheinischen Troges lässt sich nach FRANKE *et al.* (1978), MURAWSKI *et al.* (1983) und MEYER & STETS (1996) vereinfacht in drei Phasen unterteilen, die sich teilweise überschneiden.

Die erste Phase ist gekennzeichnet durch die Sedimentakkumulation der kaledonischen Molasse des Old-Red-Kontinents im Norden. Diese Phase reichte vom Unterdevon bis gebietsweise ins Mittel- und Oberdevon. Während der zweiten Phase, die im Unterdevon (Obererms) begann und sich bis ins Unterkarbon fortsetzte, erfolgte im nun stärker gegliederten Sedimentationsraum eine klastische Schüttung und karbonatische Sedimentation, begleitet von basaltischen und keratophyrischen Vulkanismus. In der dritten Phase setzte die Flyschsedimentation der herannahenden Gebirgsfront aus südlicher Richtung ein. Die dritte Phase begann im Oberdevon und endete im Oberkarbon.

Postvariscische Sedimentationsgeschichte

Die postvariscische Sedimentationsgeschichte des Rheinischen Schiefergebirges ist überwiegend terrestrisch geprägt. Eine Ablagerung von Sedimenten fand nicht mehr flächendeckend statt. Während des Perms und der Trias kam es in den intramontanen Becken zur Ablagerung von groben klastischen terrestrischen Sedimenten. Im Wittlicher Becken wurden im Oberrotliegenden auch Pyroklastika abgelagert (STETS 1990). In der Eifeler Nord-Süd-Zone wurden während der mittleren Trias und des unteren Juras neben terrestrischen Sedimenten auch marine Sedimente abgelagert. In der Oberkreide wurde das rechtsrheinische Schiefergebirge weitgehend überflutet und es kam zu marinen Ablagerungen. Das linksrheinische Schiefergebirge blieb überwiegend landfest. Mit dem Einbrechen der Niederrheinischen Bucht zu Beginn des Tertiärs kam es zur Ausdehnung des Meeres in diesen Bereich. Im weiteren Verlauf des Tertiärs gab es vermutlich im Miozän eine schmale Verbindung zum Oberrheingraben (MEYER *et al.* 1983). Im Neuwieder Becken wurden im Eozän und Oligozän terrestrische Tone und fluviatile Schotter abgelagert (LÖHNERTZ 1978). Im oberen Oligozän wurden dort marine Tone und Mergel abgelagert. Im Tertiär kam es im Rheinischen Schiefergebirge zu einem ausgedehnten Vulkanismus in drei Hauptvulkanfeldern (Hocheifel, Siebengebirge, Westerwald) und zur Bildung isolierter vulkanischer Gänge in Taunus und Hunsrück (LIPPOLT 1983). Im Quartär gab es in der Osteifel (Laacher See) und in der

Westeifel (Daun) vulkanische Tätigkeiten. Durch die vulkanischen Tätigkeiten fanden großflächig Vulkanite und Pyroklastika Verbreitung. Mit dem Einsetzen der endgültigen Heraushebung des Rheinischen Schiefergebirges vor etwa 700000 Jahren bildeten sich vor allem während der Kaltzeiten die Terrassenfolgen der großen Flüsse (Rhein, Mosel, Maas und Lahn) (HOFFMANN 1996). Ein Großteil der Sedimente im Untersuchungsgebiet stammt aus dem Paläozoikum (vgl. Abbildung 2.7).

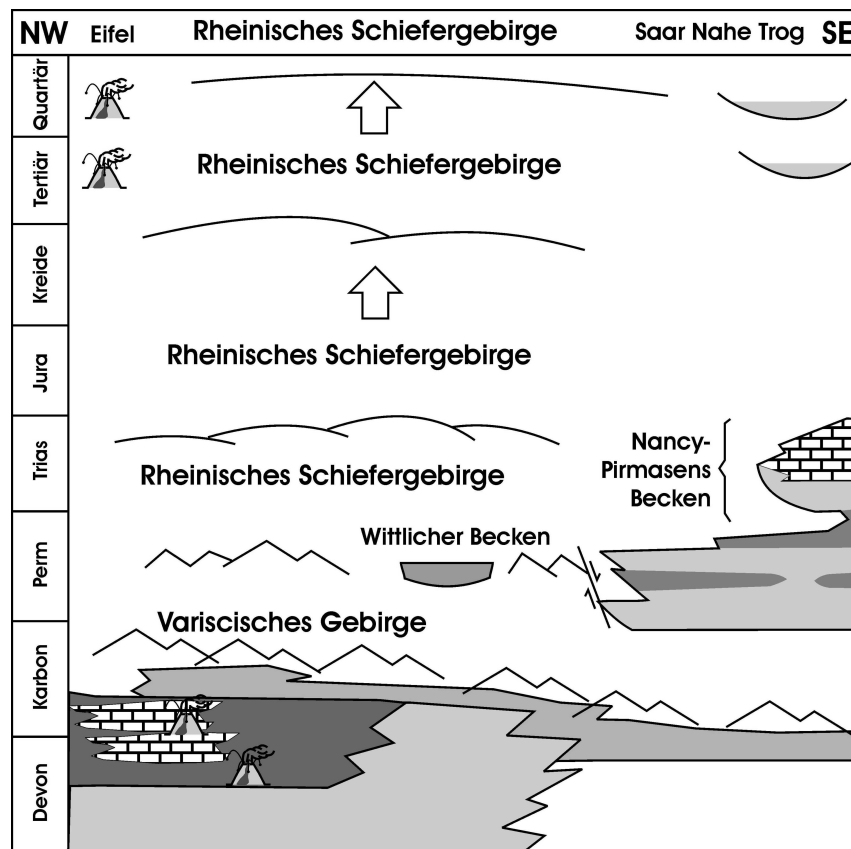


Abbildung 2.7: Sedimentationsgeschichte des Rheinischen Schiefergebirges (nach MEYER *et al.* 1983, verändert).

Die Festgesteine, die die Moselmulde aufbauen, stammen aus dem Unterdevon (Obersiegen und Ems) und dem Mitteldevon, wobei die Gesteine des Unterdevons überwiegen. Die stratigraphische Untergliederung der devonischen Schichten im Untersuchungsgebiet wird von FOLLMANN (1921), SCHMIERER & QUIRING (1933) und SOLLE (1937a; 1937b; 1942a; 1942b; 1942c; 1972) aufgestellt. Jüngere Untersuchungen von BUDEUS (1988) und KRÖLL (2001) ergänzen diese Arbeiten. Nach den genannten Bearbeitern treten im Untersuchungsgebiet Gesteine des Unter- und Oberems auf (vgl. Tabelle 2.2).

Die devonischen Gesteine im Untersuchungsgebiet weisen nach MEYER & STETS (1996) nur eine

Tabelle 2.2: Stratigrafische Gliederung im Bereich des UG Raum Koblenz (aus KRÖLL 2001, verändert).

Mitteldevon	Hangendes			
Unterdevon	Oberems	Kondel Unterstufe	Kieselgallenschiefer Sphärosideritschiefer	Tonstein Flaserschiefer
		Laubach Unterstufe	Laubach Schichten	Tonstein
		Lahnstein Unterstufe	Hohenrhein Schichten Emsquarzit	Tonstein Sandstein
	Unterems	Vallendar Stufe	Nellenköpchen Schichten Rittersturz Schichten	Tonstein Tonstein
		Singhofen Unterstufe	Bendorf Schichten	Tonstein
		Ulmen Unterstufe	Nauort Schichten	Tonstein
			Oberbieber Schichten	Tonstein
	Deichselbach Schichten		Tonstein	
	Siegen			

geringe Deformation und Metamorphose auf.

Postvariscische Sedimente überlagern die devonischen Gesteinseinheiten in Fluss- und Bachtälern sowie auf den Hochflächen. Tuffe und Lössablagerungen, die in vereinzelt Bachtälern von der Erosion verschont blieben, und Terrassensedimente, die verbreitet auf den Hochflächen und in den Talauen abgelagert wurden, sind ebenfalls im Untersuchungsgebiet zu finden.

2.1.2.5 Vererzungen im Rheinischen Schiefergebirge

Die Erzvorkommen im Rheinischen Schiefergebirge können in variscische und postvariscische unterteilt werden (REPPKE 1993, KRAHN & BAUMANN 1996, KIRNBAUER & SCHNEIDER 1998 und JOCHUM 2000). Dabei werden sowohl die Bildungsprozesse als auch die Bildungsalter kontrovers diskutiert.

Variscische Mineralisationen

Die Entstehung der variscischen Mineralvorkommen wird in früheren Arbeiten auf synorogene Plutone (SCHERP 1961) oder Mantelmagma (SCHERP & STADLER 1973) und Aufschmelzung des paläozoischen Sedimentgesteins als Erzlieferant zurückgeführt (vgl. Abbildung 2.8). Als Indiz wurden frühdiagenetische Konkretionen in devonischen Gesteinen angesehen (JUX & MANZE 1974). In neueren Arbeiten wird der Stoffbestand der Mineralisationen aus den paläozoischen Sedimenten hergeleitet (FUCHS & LANG-VILLEMAIRE 1981, KRAHN & BAUMANN 1996 und JOCHUM 2000). Kluft- und Porenwässer, die bei der variscischen Orogenese stark erhitzt wurden, lösten Stoffe aus den Gesteinen der tieferen Kruste. Der Aufstieg der hochmineralisierten Fluide (Brines) wurde durch tektonische Kräfte und einen hohen thermischen Gradienten gesteuert. Die gelösten Stoffe wurden in Schwächezonen, die während der Faltung entstanden, ausgefällt.

Variscische Mineralisationen

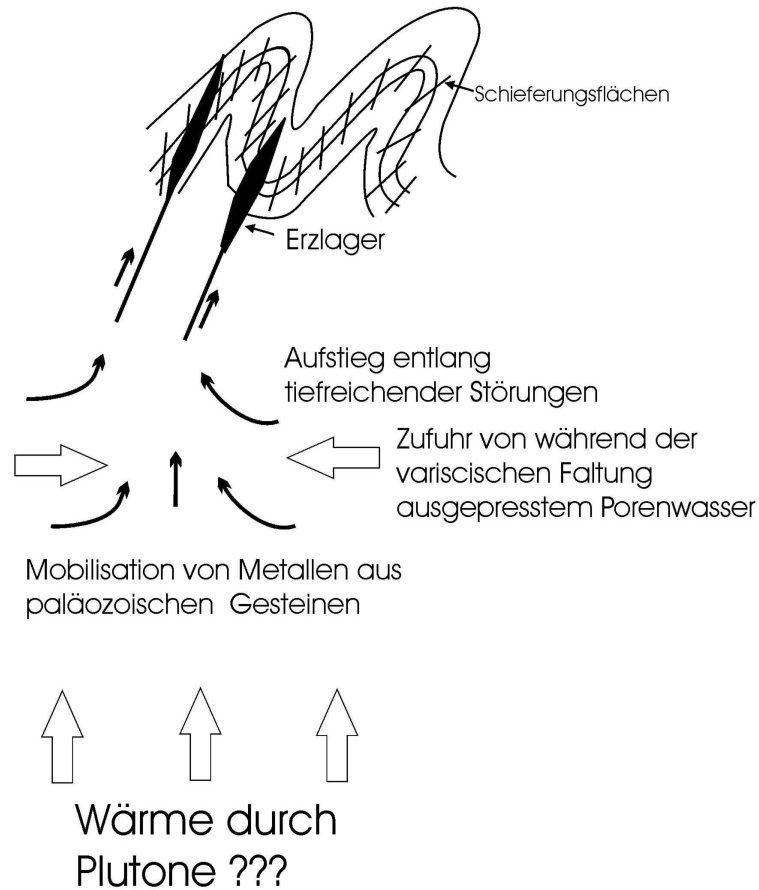


Abbildung 2.8: Entstehung der variscischen Vererzungen (aus KRAHN & BAUMANN 1996, verändert).

Die Bildung der Schwäche­zonen (Störungs­zonen, Schieferung und Falten) und deren Mineralbildung erfolgte phasenweise (REPPKE 1993). Neben schichtparallelen Lagenharnischen lassen sich drei gangförmige Mineralisationsphasen unterscheiden (FENCHEL 1985 und REPPKE 1993):

- Vorphase: Hauptverbrei­tungsgebiet: Siegerland; quarzig-arsenidisch; Eisensulfide und Kobaltarsensulfide; einzige Gangart ist feinkörniger, grauer Quarz.
- Haupt- oder Sideritphase: Hauptverbrei­tungsgebiete: Siegerland, Eifel und Bensberger Revier; Nickel-Kobalt-Arsen-Antimon-Sulfide, Siderit, Quarz und Chalkopyrit.
- Sulfidphase: Hauptverbrei­tungsgebiet: Randgebiete des Siegerlandes; Blei-Zinkerze, Kupfererze und Sulfosalze.

Postvariscische Mineralisationen

Die postvariscischen Mineralisationen sind nach KRAHN (1988) und WERNER (1990) im Mesozoikum und Känozoikum entstanden. Eine genauere zeitliche Einordnung vor allem der Gangmineralisationen ist wegen fehlender Bezugshorizonte und widersprüchlicher Altersbestimmungen nicht möglich (REPPKE 1993 und KIRNBAUER & SCHNEIDER 1998).

Die Entstehung postvariscischer Mineralisationen wird in früheren Arbeiten (SCHRIEL 1952) auf die Remobilisierung älterer, variscischer Mineralisationen zurückgeführt. MÜLLER & SCHERP (1967) führen Barytmineralisationen in Querstörungen auf Formationswässer zurück, die durch tektonische Bewegungen und thermische Einwirkungen des miozänen Basaltvulkanismus mobilisiert wurden. Sulfidvererzungen sind durch ascendente Wässer entstanden, die im Einflussbereich der Blei-Zink-Vererzungen lagen. Jüngere Arbeiten von KRAHN (1988), KRAHN & BAUMANN (1996) und JOCHUM (2000) zur Bleiisotopenzusammensetzung zeigen deutlich, dass eine Entstehung der postvariscischen Mineralisationen durch die Remobilisierung variscischer Vererzungen ausgeschlossen werden kann. SCHAEFFER (1984) führt die Entstehung der postvariscischen Mineralisationen auf den jungmesozoischen-känozoischen Manteldiapirismus zurück (vgl. Kapitel 2.1.2.2). Der Manteldiapir bildete unter dem Rheinischen Schiefergebirge eine Konvektionszelle aus, die zu einem erhöhten Wärmeffluss führte. Entlang von Brüchen migrierten hochsalinare Lösungen (Brines) aus den evaporitführenden permotriassischen Gesteinen der intramontanen Becken in tiefliegende Krustenbereiche des Orogens (BEHR & HORN 1984 und REPPKE 1993). Sie wurden dort erhitzt und laugten aus dem umgebenen Gestein die Metalle aus. Die erhitzten stoffbeladenen Fluide stiegen entlang tektonisch aktiver Schwächezonen auf und durchmischten sich mit deszendenden Lösungen aus dem Deckgebirge. Dies führte zur Ausfällung vieler postvariscischer Mineralisationen (vgl. Abbildung 2.9). Dabei bildeten sich in den pelitischen und karbonatischen Sedimenten Gangmineralisationen, während Sandsteine imprägniert wurden (JOCHUM 2000). Während des Miozäns entstanden in der mächtigen Verwitterungsdecke (bis $> 100\text{ m}$) des Rheinischen Schiefergebirges die weit verbreiteten Eisenerze des Typs Hunsrücken-erze. Die Hunsrücken-erze treten als scharf begrenzte Anreicherungszone im Oxidationshorizont der tertiären Verwitterungsdecke auf. Dabei sind die dominierenden Erzminerale Goethit und Hämatit (FELIX-HENNINGSSEN 1990). Zunächst lösten reduzierende Grundwässer der tieferliegenden Bereiche des Grundwasserkörpers Eisen (Fe) und Mangan (Mn) aus dem Nebengestein. Durch die Hebung des Rheinischen Schiefergebirges sank der Grundwasserspiegel ab und das ehemals reduzierende Milieu wurde oxidierend. In Folge dessen kam es zur Ausfällung von Fe - und Mn -Mineralisationen. Die oxidierenden Wässer werden als deszendente Wässer bezeichnet, da sie sich von einem höheren Niveau des Sedimentkörpers in ein tieferes Niveau verlagerten. Bei dieser Mineralbildung sind im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Prozessen keine ascendenden, hoch mineralisierten Tiefenwässer beteiligt.

Jungtertiäre bis rezente Mineralisationen treten nach KIRNBAUER & SCHNEIDER (1998) am Süd-

POST-VARISCAN MINERALIZATION

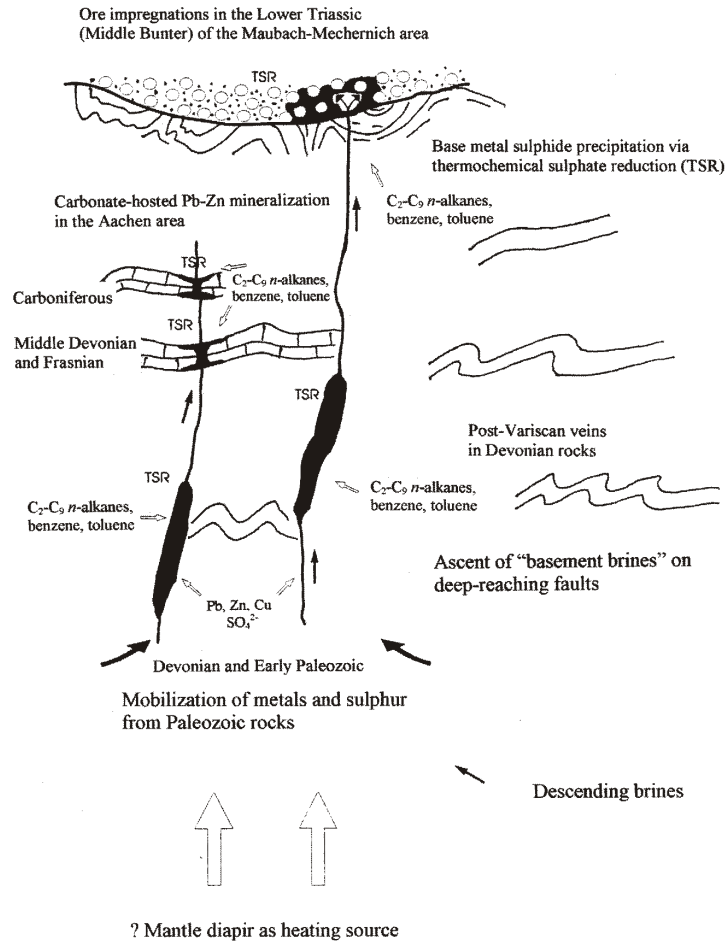


Abbildung 2.9: Entstehung der postvariscischen Vererzungen (aus KRAHN & BAUMANN 1996).

ostrand des Rheinischen Schiefergebirges im Zusammenhang mit Thermal- und Mineralquellen auf. Dabei treten salinare Tiefenwässer in Form von Mineralquellen bevorzugt an den Rändern des Rheinischen Schiefergebirges und in tief eingeschnittenen Flusstälern aus (MAY 1994). Beim Aufstieg kühlen die hoch mineralisierten Wässer ab und es kommt zu Mineralausfällungen. An Thermal- und Mineralquellen kommt es dabei zur Bildung von SiO_2 -Mineralen, Baryt, Sulfiden und Fe-Mn -Oxyden/Hydroxyden (KIRNBAUER & SCHNEIDER 1998), wobei solche Mineralisationen auch in Bereichen auftreten können, in denen nicht mehr aktive Mineralquellen anzutreffen sind.

Kriterien zur Unterscheidung variscischer und postvariscischer Mineralisationen

Aus den Arbeiten von REPPKE (1993) für das linksrheinische und KIRNBAUER & SCHNEIDER (1998) für das rechtsrheinische Schiefergebirge ist ersichtlich, dass sich die variscischen und postvariscischen Mineralisationen gut anhand makroskopischer Merkmale unterscheiden lassen. In diesen Arbeiten sind Unterscheidungskriterien angegeben, die schon von BORNHARDT (1912), ZIMMER (1921), BEHR & HORN (1984), SCHAEFFER (1984), KRAHN (1988), v. GEHLEN (1987), KRAHN & FRIEDRICH (1991) und BEHR *et al.* (1993) beobachtet wurden. Eine Übersicht der Merkmale ist in Tabelle 2.3 dargestellt.

Tabelle 2.3: Merkmale variscischer und postvariscischer Mineralisationen (aus REPPKE 1993, verändert).

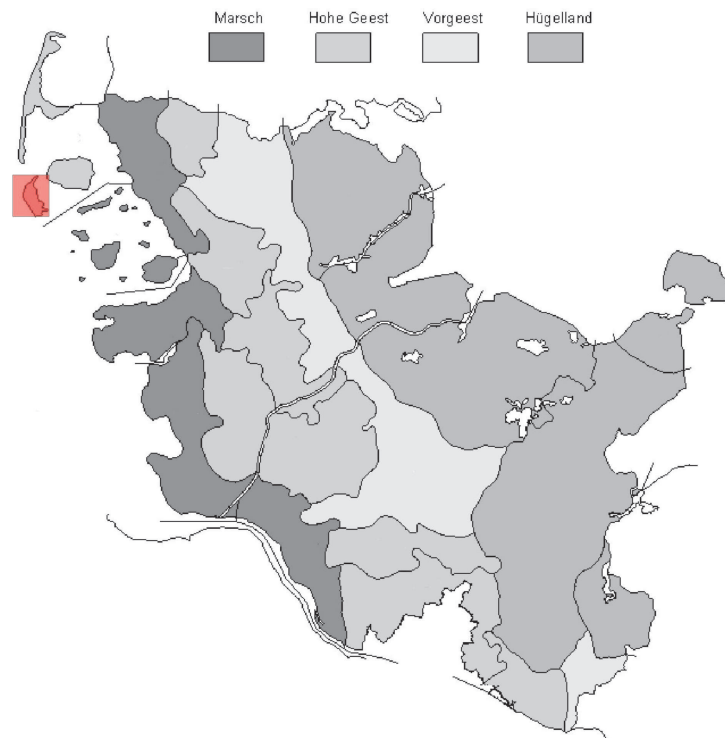
	variscisch	postvariscisch
Gangausbildung	komplexe Struktur: durch Faltungstektonik begrenzter Gangraum	einfache Struktur: durch Bruchtektonik ausreichender Gangraum
Gefüge	dicht, meist drusenfrei Minerale tektonisch stark beansprucht	drusig, kristallin Minerale tektonisch wenig beansprucht viele Ganghohlräume
Korngröße u. -ausbildung	fein- mittelkörnig meist xenomorph	meist grobkristallin hyp- bis idiomorph häufig Zonarbau
Gangarten	häufig: Siderit grobkörnig weißer Milchquarz selten: Dolomit/Ankerit Calcit	selten Siderit feinkörnig häufig: Quarz, farblos, drusig Zonarbau Kappenquarz lokal Baryt und Calcit
Ganginhalt	überwiegend Gangart- und Erzminerale	überwiegend Gangartminerale und Nebengesteinsbruchstücke
Erzminerale	Galenit, feinkörnig Sphalerit, häufig	Galenit, grobkörnig Sphalerit, selten häufig Eisenerze auf Spalten und Kappenquarzen

2.2 Amrum

2.2.1 Geografie

2.2.1.1 Lage und Orografie

Die Nordseeinsel Amrum mit einer Fläche von $20,5 \text{ km}^2$ (STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN 2007) und einer Länge von etwa 10 km gehört zu den Nordfriesischen Inseln und liegt im Norden Schleswig-Holsteins im deutsch-dänischen Grenzgebiet. Geologisch gehört Amrum zu den Nordfriesischen Geestinseln des Nordfriesischen Wattenmeers, die einen Teil der Schleswig-Holsteinischen Geest bilden (vgl. Abbildung 2.10). Die amtlichen Karten L 1314



Amrum rot hinterlegt.

Abbildung 2.10: Naturräumliche Gliederung Schleswig-Holsteins (aus STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN 2003, verändert).

Hörnum (Sylt) und L 1316 Wyk a. Föhr beinhalten die Insel Amrum. Die Einwohner Amrums leben in den Ortschaften Norddorf, Nebel, Süddorf, Steenodde und Wittdün. Die NW-SE verlaufende Insel lässt sich in fünf naturräumliche Zonen untergliedern (DEGN *et al.* 1997). Wie Abbildung 2.11 zeigt, liegt westlich des Inselgeestkerns die bis zu 1000 m breite Strandzone des

Kniepsands. In östlicher Richtung folgt die bis zu 1200 m breite Dünenzone, in der der Geestkern von bis zu 20 m hohen Sanddünen bedeckt wird. Daran schließt sich die bis zu 400 m breite Heidezone an, innerhalb der der Inselkern von einer dünnen Sanddecke überdeckt ist. In der darauffolgenden Ackerzone, in der Salzwiesen liegen, reicht der Inselkern bis an die Geländeoberfläche. Im Osten folgen auf die Ackerzone, die von Stennode bis Nebel von einem Kliff begrenzt wird, die Wattflächen (vgl. Abbildung 2.11). Die höchsten Punkte Amrums bilden die Dünen, die eine Höhe von bis zu 27 m über NN erreichen. Die Heide- und Ackerzone weisen Höhen von 5 m bis 10 m über NN auf. Die Wattflächen und weite Teile des Kniepsands liegen im Höhengniveau des mittleren Tidenhochwassers und werden somit zweimal täglich vom Meer überflutet. Das Gebiet nördlich von Norddorf (Amrumer Odde) und die Dünenzone sind als Naturschutzgebiete ausgewiesen.

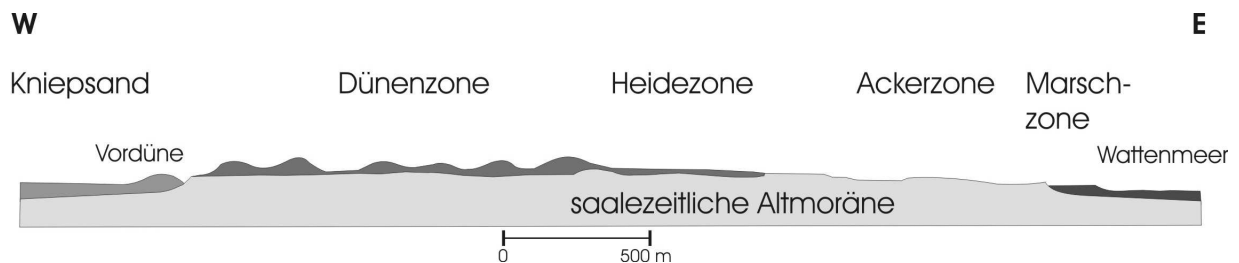


Abbildung 2.11: Naturräumliche Gliederung Amrums (aus DEGN *et al.* 1997).

2.2.1.2 Vegetation

Die Vegetation Amrums ist sehr artenreich und wird von Meer und Wind beeinflusst. Die oben beschriebene naturräumliche Gliederung lässt sich in etwa auf die Vegetationszonen übertragen. Während im oberen Bereich des trockenen Strandes nur spärlicher Bewuchs auftritt, nimmt die Vegetation in den Dünen zu. Am Strand bilden Gräser den Hauptbewuchs. Mit zunehmendem Abstand vom Strand treten immer mehr Sträucher und Heidegewächse auf. Am Dünenrand zur Heidezone hin wurde ein schmaler Waldstreifen angepflanzt, der das Vorrücken der Dünen verhindern soll (DEGN *et al.* 1997). Der Wald besteht aus Nadelbäumen (Kiefern und Fichten) und wird forstwirtschaftlich genutzt. Vor allem Ericagewächse mit vereinzelten Birken prägen das Vegetationsbild der Heidezone. In der Ackerzone liegen landwirtschaftlich genutzte Flächen, die überwiegend zur Weidewirtschaft genutzt werden und in östlicher Richtung in die Salzwiesen übergehen. Die Vegetation dort ist von halophilen Pflanzen geprägt (Portulak-Keilmelde, Strandaster und Halligflieger).

2.2.1.3 Klima

Das ozeanisch geprägte Klima der Nordfriesischen Inseln wird durch ihre exponierte Lage in der Nordsee hervorgerufen. Die Jahresdurchschnittstemperatur im Bereich der Nordfriesischen Inseln liegt bei 8,4 °C (vgl. Tabelle 2.4). Die Jahresschwankungen der Lufttemperatur fallen im Vergleich zum kontinental geprägten Klima geringer aus (LIEDTKE & MARCINEK 2002), da die im Winter relativ warmen und im Sommer relativ kühlen Wassermassen dämpfend wirken. Auch der deutlich verzögerte Temperaturanstieg im Frühjahr lässt sich darauf zurückführen. Im Bereich der Inseln liegt die Jahresdurchschnittsniederschlagsmenge bei 700 mm bis 900 mm, mit dem Niederschlagsmaximum im Spätherbst (LIEDTKE & MARCINEK 2002) (vgl. Tabelle 2.4). Das ozeanisch geprägte Klima und die unfruchtbaren Böden Amrums sind die Hauptgründe für die intensive touristische Erschließung Amrums.

Tabelle 2.4: Daten vom Deutschen Wetterdienst für die Wetterstation List auf Sylt, Höhe 26 m über NN, und Norddorf auf Amrum, Höhe 9 m über NN (Mittelwerte für die Jahre 1961 bis 1990).

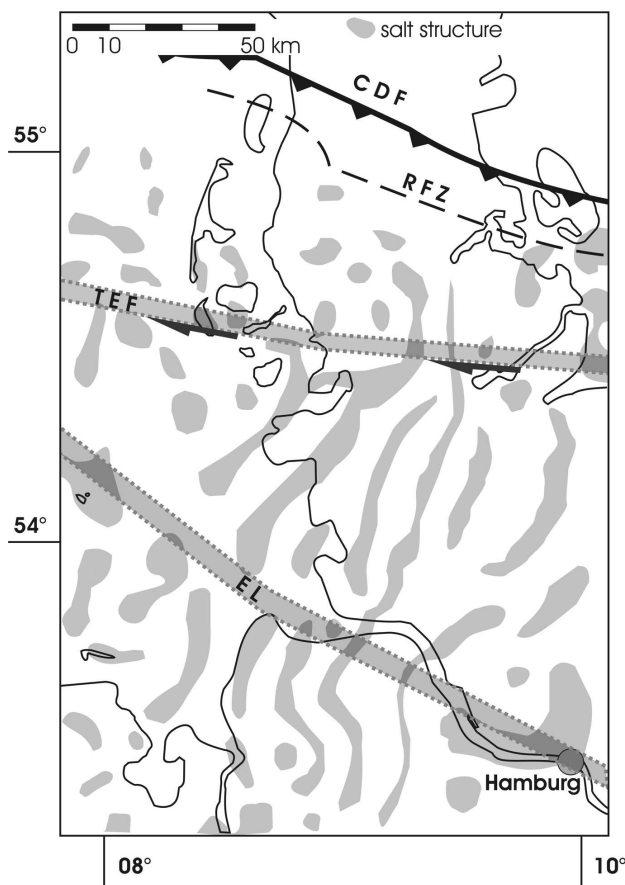
Station	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahresmittel
Durchschnittliche Temperaturen in °C													
Sylt	1,0	0,9	2,7	6,0	10,8	14,2	15,7	16,2	13,9	10,4	6,1	2,8	8,4
Durchschnittliche Niederschlagsmenge in mm													
Amrum	65,3	38,5	48,5	43,3	42,9	59,4	67,3	70,5	87,7	101,6	102,1	78,6	805,7

2.2.2 Geologie

2.2.2.1 Überblick

Die Nordseeinsel Amrum liegt in der Norddeutschen Senke, dem Zentralteil der Mitteleuropäischen Senke. Die Norddeutsche Senke lässt sich untergliedern in das Niedersächsische Tektonogen im Süden und die Pompeckjsche Scholle im Norden. Amrum liegt auf der Pompeckjschen Scholle im Bereich der Westholsteinschwelle, die durch Salzkissen im Untergrund gekennzeichnet ist (vgl. Abbildung 2.12).

Die Insel wird von holozänen Moränenablagerungen (Geestkern) aufgebaut, die im Westen von Dünensedimenten überlagert werden. Die Geestkerne aller Nordfriesischen Geestinseln werden als ehemalige Festlandbereiche gedeutet, die sich durch Sturmfluten vom Festland trennten.



CDF: Kaledonische Deformationsfront
 EL: Elbe Lineament
 RFZ: Rømø Störungszone
 TEF: Trans-European Störung

Abbildung 2.12: Salzstrukturen im Untergrund von Schleswig-Holstein (nach ZIEGLER 1990, verändert).

2.2.2.2 Geologische Entwicklung

Bei der Erläuterung der geologischen Entwicklung Nordwestdeutschlands müssen überregional-tektonische (z. B. Rifting) und salztektonische Prozesse (z. B. Salzaufstieg) berücksichtigt werden. Der präpermische Untergrund des Beckens wurde im Norden von der kaledonischen Deformationsfront überprägt. Im südlichen Teil des Beckens wurde der Untergrund durch die variscische Gebirgsbildung beeinflusst, da die variscische Deformationsfront bis in den Randbereich des Beckens reichte. Die zwischenliegenden Gesteinseinheiten, die aus devonischen und karbonischen Gesteinen aufgebaut werden, lagern diskordant den präkaledonischen Gesteinen auf.

Die Anlage des Norddeutschen Beckens (Permbecken) begann im späten Karbon bis frühen Perm (Rotliegend), hervorgerufen durch die nach dem Entstehen des Superkontinents Pangäa einsetzende Ostdrift der Europäischen Platte relativ zur Afrikanischen Platte (Rifting). Es entstand ein N-S gerichtetes Stressfeld, das zur Anlage von Seitenverschiebungssystemen und postvariscischem Vulkanismus führte (GAST 1988). Durch dieses Rifting bildete sich das südliche Permbecken, das

sich von Mittelengland bis nach Polen erstreckt (ZIEGLER 1990) (vgl. Abbildung 2.13). Nach KOCKEL (2002) stehen die Salzdiapire, Grabensysteme und Inversionsstrukturen Nordwestdeutschlands mit Riftingprozessen in Verbindung, die mit Unterbrechungen vom Perm bis zur Kreide durchhielten.

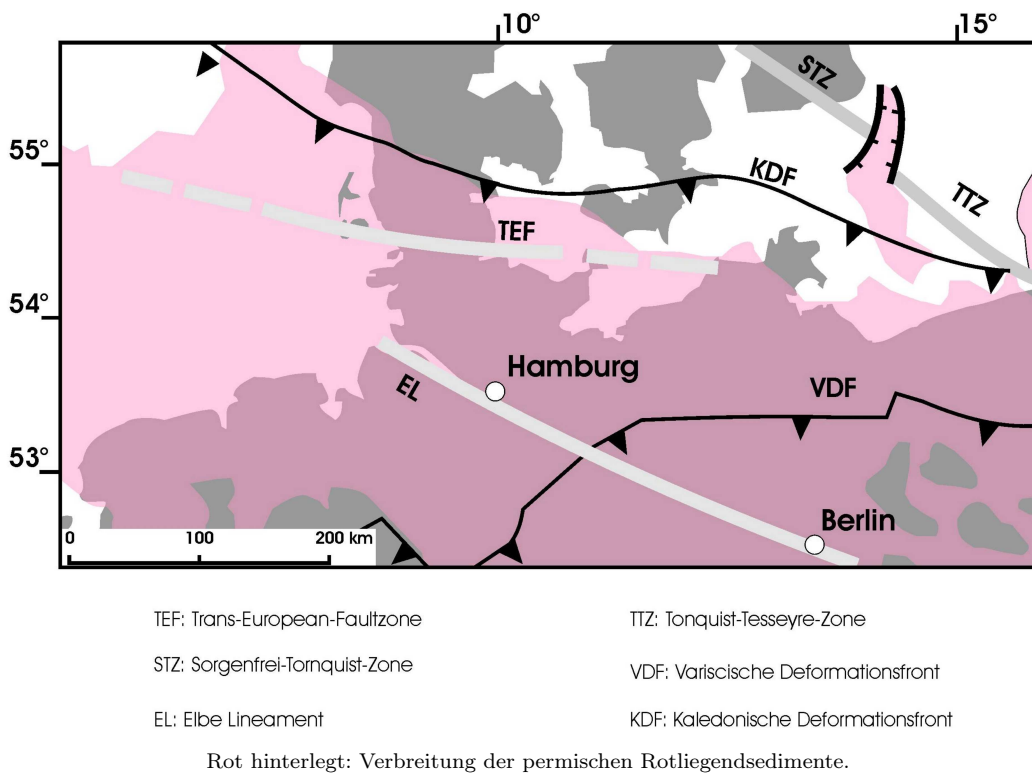


Abbildung 2.13: Übersicht über das südliche Permbecken (aus LOTZ 2004, verändert).

Vom späten Perm bis zur frühen Trias bildeten sich N-S bis NNE-SSW verlaufende Grabenstrukturen (Nordsee-, Zentral-, Vikin-, Horn- und Glückstadt Graben) (GAST 1988). Nach einer kurzen Phase tektonischer Ruhe während des unteren und mittleren Buntsandsteins (KOCKEL 2002) setzte eine weitere Riftphase im oberen Buntsandstein ein, die im Zusammenhang mit dem Nordsee-Rifting steht (ZIEGLER 1990). Dieses Rifting war in drei NNE-SSW bis NNW-SSE verlaufenden Hauptzonen (Horngraben-Ems Rift, Glückstadt Rift und Brunswick Rift) aktiv. Es sind aber auch reaktivierte NW-SE verlaufende Lineamente (hercynische Richtung) nachgewiesen (KOCKEL 2002). Vom unteren Jura bis zur Unterkreide erfuhr das Niedersächsische Becken Extension entlang einer WNW-ESE verlaufenden Achse mit dem Höhepunkt im späten Jura (BALDSCHUHN *et al.* 2001), während der südliche Nordseebereich gehoben wurde und der Erosion unterlag. In der späten Kreide kam es in vielen Gräben zur Inversionstektonik, die bis ins Tertiär reichte (BALDSCHUHN *et al.* 1996). Außerhalb der Gräben war die tektonische Aktivität im deutschen Nordseeraum sehr gering. Dort entwickelten sich jedoch Störungen über Salzstrukturen

und Störungen im präpermischen Untergrund wurden reaktiviert. Seit dem Quartär gehört der deutsche Nordseeraum zu den tektonisch inaktivsten Gebieten Zentraleuropas (KOCKEL 2002). Die noch heute anhaltenden Bewegungen sind isostatische Ausgleichsbewegungen, die durch wechselnde Eislasten hervorgerufen wurden. Die während der Eiszeiten abgelagerten Sedimente bauen die Kerne der heutigen Nordfriesischen Inseln und weite Teile des Schleswig-Holsteinischen Festlandes auf. Während der Weichsel Eiszeit lag der Meeresspiegel ca. 100 m unter dem heutigen Niveau und die Küstenlinie lag weit nördlich des heutigen Verlaufs. Während der Flandrischen Transgression (5000 Jahre bis 3000 Jahre vor Heute) stieg der Meeresspiegel von -27 m bis auf -2 m des heutigen Niveaus an und der ehemals zusammenhängende Festlandbereich wurde überflutet. Durch die bis heute anhaltende Transgression wurden weite Bereiche der Geestlandschaft vom Festland getrennt. In den letzten 3000 Jahren stieg der Meeresspiegel um weitere zwei Meter auf das heutige Niveau an (Düнкirchen Transgression). Begünstigt durch diesen weiteren Meeresspiegelanstieg kam es vor allem bei den großen Sturmflutereignissen (z. B. 1362 „Manndränke“ und 1634 „Marcellus-Flut“) zu weiteren großen Landverlusten. Zurück blieben die Geestkerninseln und die Halligen in ihrer heutigen Gestalt. Aufgrund der exponierten Lage der Nordfriesischen Inseln und des rezent voranschreitenden Meeresspiegelanstiegs unterliegen die Inseln und Halligen auch heute noch den Einwirkungen des Meeres und befinden sich somit in einem dynamischen Zustand. Dies ist vor allem an der Insel Sylt gut zu beobachten. Nur durch intensive Landgewinnungsmaßnahmen (z. B. Aufschütten von Sandflächen) ist es zur Zeit möglich, den Strand zu erhalten.

2.2.2.3 Stratigrafie und salztektonische Phasen

Durch zahlreiche Erdöl- und Erdgasexplorationsbohrungen im Nordseeraum ist der stratigrafische Aufbau des Permbeckens vom Permokarbon zum Quartär gut bekannt. Die Sedimentationsgeschichte ist stark an die tektonische Entwicklung des Beckens gebunden. Die postkarbonische sedimentäre Abfolge bis zum Quartär lässt sich unter Berücksichtigung der Salzbewegungen (Halokinese) in drei Phasen einteilen (WEBER 1977).

Auf dem präpermischen Grundgebirge wurden in den tiefsten Beckenbereichen mehr als 10000 m mächtige Sedimente abgelagert (WEBER 1977). Im Gebiet der Nordfriesischen Inseln liegt die Mächtigkeit der postkarbonischen Sedimente bei etwa 4000 m (vgl. Abbildung 2.14).

Die ältesten Ablagerungen stellen die bis zu 2000 m mächtigen permokarbonischen, überwiegend rhyolitischen (BENEK *et al.* 1995) Vulkanite mit eingeschalteten Konglomeraten dar. In der vom Oberrotliegenden bis zum Ende des mittleren Keupers reichenden ersten Phase kam es zur Ablagerung mächtiger mariner (Zechstein) und terrestrischer (Rotliegend und Keuper) Salzlagen. Die Rotliegendesedimente wurden unter terrestrischen Bedingungen fluviatil, äolisch oder limnisch abgelagert. Nach MAYSTENKO (2005) wurden im Rotliegenden ca. 2200 m mächtige Sedimente mit Salzlagen mit einer Gesamtmächtigkeit von bis zu 450 m abgelagert. Der Zechstein wird

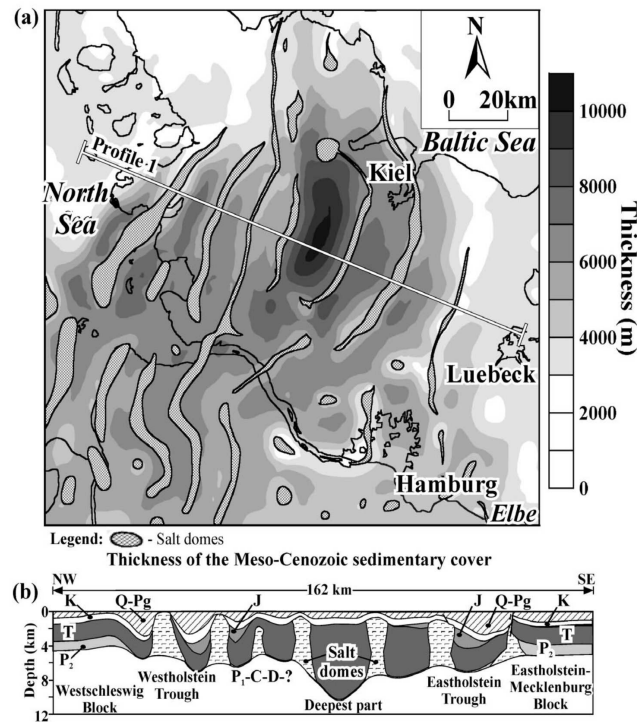


Abbildung 2.14: Sedimentmächtigkeiten des Permbeckens in Schleswig-Holstein (nach BALDSCHUHN *et al.* 1996, aus MAYSTENKO 2005, verändert). a) Sedimentmächtigkeiten der postpermischen Sedimente, b) Profil im Bereich des Glückstadt Grabens: C = Karbon, D = Devon, P₂ = Zechstein, T = Trias, J = Jura, K = Kreide, Q-Pg = Tertiär und Quartär.

von einer Salz dominierten Karbonat-Evaporit-Serie aufgebaut. Im Buntsandstein wurden vor allem in den Grabenbereichen wie z.B. dem Emsgraben oder Glückstadt Graben überwiegend klastische Sedimente mit eingeschalteten mächtigen Salzlagen abgelagert (BEUTLER 1998). Die Ablagerungen des Muschelkalks sind durch marine Karbonate und Evaporite geprägt. Die Evaporite des Keupers werden als abgelaugte Permsalze interpretiert (DULCE & GRONEMEIER 1982). Die Gesamtmächtigkeit der während der Trias abgelagerten Sedimente beträgt bis zu 6000 m (BALDSCHUHN *et al.* 1996 und MAYSTENKO 2005). Mit den beginnenden halokinetischen Bewegungen, die vom Buntsandstein bis hin zum mittleren Muschelkalk reichten und zur Bildung von Salzkissen führten, endete die erste Phase. In der zweiten Phase, die in der oberen Trias begann und bis zum Ende des mittleren Juras reichte, fand der Hauptsalzaufstieg statt und es kam zur Bildung von Salzdiapiren (ZIEGLER 1990).

Während der zweiten Phase wurden überwiegend pelitische marine Sedimente mit Einlagerungen klastischer Schüttungen in Form von kalkigen Silt- und Tonsteinen abgelagert. Die Verbreitung der jurassischen Sedimente ist in Schleswig-Holstein auf die Mittelholsteinsche Scholle und den Raum Geesthacht-Hohenhorn beschränkt (WEBER 1977). In diesen Trögen betragen die Sedi-

mentmächtigkeiten des unteren und mittleren Juras bis zu 2000 *m*. Gegen Ende des mittleren Juras setzten verstärkt halokinetische Bewegungen ein, die zu einer überregionalen Hebungsphase überleiteten. So kam es vom oberen Jura bis zur Unterkreide zur Erosion. Lediglich in exponierten Becken kam es zur Ablagerung der Abtragungsprodukte.

Die dritte Phase setzte mit der marinen Transgression in der Unterkreide ein. Sie ist gekennzeichnet durch marine Ablagerung pelitischer bis karbonatischer Sedimente der Kreide. Die Ablagerungen der Unterkreide sind zunächst rein pelitisch. Zur Oberkreide, die rein karbonatisch ausgebildet ist, nimmt der Karbonatanteil stetig zu. Die Sedimente der Oberkreide erreichen Mächtigkeiten von etwa 400 *m*. Das Tertiär ist überwiegend pelitisch geprägt. Erst im weiteren Verlauf treten klastische Einschaltungen auf. Die Sedimentmächtigkeiten des Tertiärs variieren sehr stark. Auf den stabilen Schollen liegen sie bei weniger als 500 *m*, erreichen in den Gräben jedoch Mächtigkeiten von über 2500 *m*. Die halokinetischen Bewegungen in Norddeutschland ließen im Tertiär nach, halten jedoch teilweise bis heute an. Die quartären Sedimente Norddeutschlands werden vor allem durch mächtige Schmelzwassersedimente und Moränenablagerungen aufgebaut, die während der Kaltzeiten abgelagert wurden. In diese Ablagerungen sind warmzeitliche Torfe und Bodenhorizonte eingelagert. Nach VINKEN (1988) beträgt die Mächtigkeit der quartären Sedimente in Schleswig-Holstein bis zu 300 *m*. Im Bereich von Amrum variiert die Mächtigkeit der pleistozänen quartären Sedimente von ca. 26 *m* in Wittdün bis über 30 *m* in Norddorf (GESCHWINDER 1992). Die jüngsten Sedimente der Inseln sind die subrezent bis rezenten Lockersedimente im Strand- und Dünenbereich. Im Gegensatz zum Rheinischen Schiefergebirge treten auf der Insel Amrum oberflächennah keine bedeutenden Vererzungen auf. Ein schematischer Überblick der Sedimentationsgeschichte der Norddeutschen Senke wird in Abbildung 2.15 dargestellt.

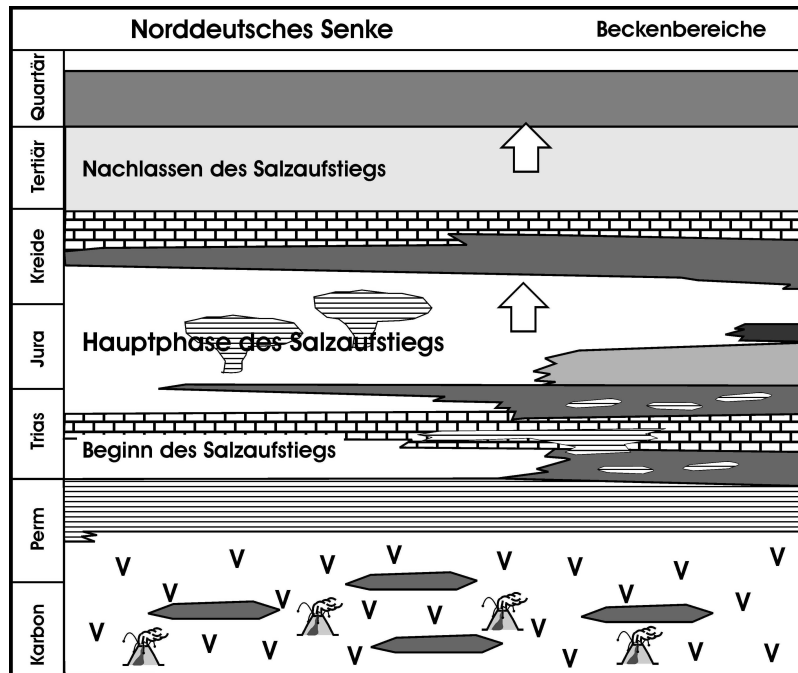


Abbildung 2.15: Halokinetische Entwicklung Nordwestdeutschlands (nach MOHR *et al.* 2005).

2.2.2.4 Bedeutende überregionale tektonische Elemente

Nach THYBO (1997) verläuft im Bereich von Amrum die Trans-European Störungszone (TEF) in WNW-ESE Richtung (vgl. Abbildung 2.16 a)). Die TEF gehört zur Trans-European Suture Zone (TESZ), die als komplexer Grenzbereich von Baltica zu Avalonia mit einer zwischenliegenden Mikroplatte angesehen wird (BABUŠKA & PLOMEROVÁ 2004) (vgl. Abbildung 2.16 c)).

Die TEF wurde nach THYBO (1997) als Teil eines spätkarbonischen, frühpermischen komplexen dextralen Blattverschiebungssystems angelegt (vgl. Abbildung 2.16 b)). Spätere tektonische Ereignisse wie das mesozoische Rifting und die alpidische Orogenese führten zur Reaktivierung einzelner Störungszonen des komplexen Störungssystems der TESZ. Begleitend zur alpidischen Orogenese wurden die Störungen z. T. als invertierte Störungen reaktiviert (Inversionstektonik). Durch die halokinetischen Bewegungen sind im Untersuchungsgebiet Salzkissenstrukturen entstanden (MOHR *et al.* 2005), die zur Anlage kleinräumiger tektonischer Elemente (Brüche) führen können. Ein solches Bruchmuster ist für die Umgebung von Amrum nicht bekannt.

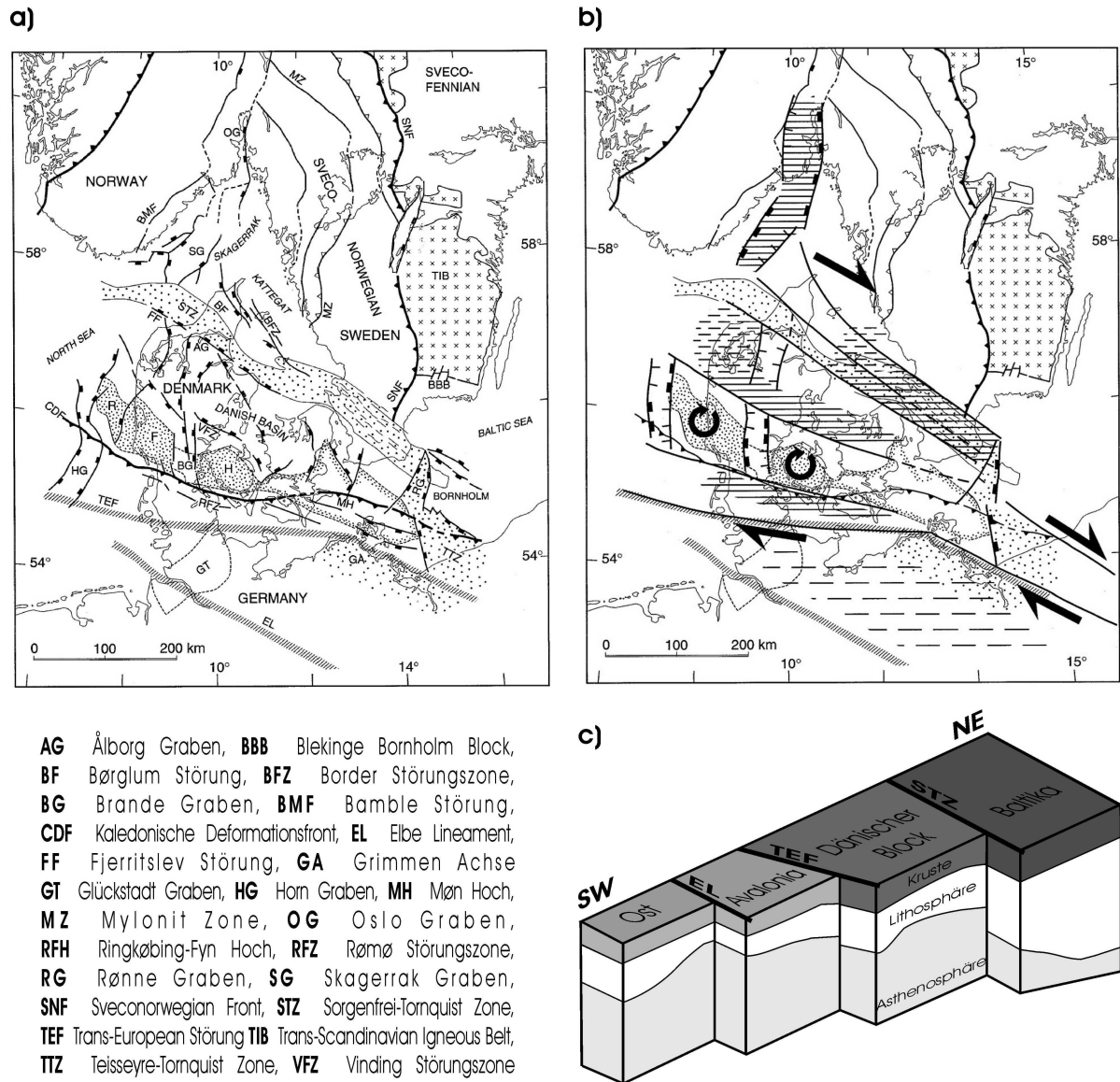


Abbildung 2.16: Tektonische Elemente der Trans-European Suture Zone (a) und b) aus THYBO 1997, verändert) und schematischer Aufbau der Kruste und des Mantels im Bereich der Trans-European Suture Zone (c) aus BABUŠKA & PLOMEROVÁ 2004, verändert).

3 Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden unterschiedliche Untersuchungsmethoden eingesetzt. Zur geologischen und tektonischen Erkundung der Untersuchungsgebiete wurden in erster Linie Geländearbeiten durchgeführt (vgl. Kapitel 3.1.1). Diese reichten von Kartierungsarbeiten bis zur Probenahme von Gesteinsmaterial und Bodenluft. Ein Schwerpunkt dieser Arbeit stellt die Einführung und Weiterentwicklung der Bodenluftanalyse dar (vgl. Kapitel 3.1.3.3). Die Möglichkeit zur Untersuchung der Zusammensetzung von Gesteinsproben im institutseigenen Labor wurde ebenfalls genutzt (vgl. Kapitel 3.2).

3.1 Geländearbeit

3.1.1 Kartierung

Während der Geländearbeiten im Raum Koblenz in den Jahren 2004 bis 2007 wurden Aufschluss- und Lesesteinkartierungen sowie morphologische Untersuchungen genutzt, um die geologischen und tektonischen Gegebenheiten aufzunehmen. Die Kartierung auf Amrum beschränkte sich aufgrund der einheitlichen geologischen Begebenheiten auf Sondierungsarbeiten.

Angaben zur Lagerung, Klüftung und Schieferung konnten im UG Raum Koblenz nicht immer gemacht werden. Aus diesem Grund wurden die Festgesteinsaufschlüsse in die folgenden Kategorien unterteilt:

- Aufschlüsse mit anstehenden und einmessbaren Gesteinen:
An solchen Aufschlüssen wurde die Gesteinsart, die Lagerung und, falls vorhanden, Klüftung und Schieferung bestimmt.
- Aufschlüsse mit anstehenden und nicht einmessbaren Gesteinen:
Bei dieser Art von Aufschlüssen konnte meist nur die Gesteinsart bestimmt werden.

Da die Festgesteinsaufschlüsse meist auf Fluss- und Bachtäler sowie Straßenanschnitte beschränkt sind, wurden im Bereich der Hochflächen Lesesteinkartierungen durchgeführt. Bei dieser Methode muss die Morphologie berücksichtigt werden, da Lesesteine durch gravitative Prozesse umgelagert werden können. Lesesteinkartierungen sind zwar nicht so exakt wie Kartierungen in Festgesteinen, helfen aber, Lücken zwischen den einzelnen Festgesteinsaufschlüssen zu schließen.

Auch die Morphologie gibt Hinweise auf die Gesteinsart im Untergrund oder zeichnet die Grenzen zwischen zwei Gesteinsarten nach. So bilden quarzitisches Sandsteine häufig Härtlingsrippen. Terrassensedimente lassen sich an Terrassenstufen gut verfolgen. An den Hängen der Bach- und Flusstäler weisen Stauwasseraustritte in Sandsteinen auf einen lithologischen Wechsel von Sand- zu Tonstein hin.

Die Unterscheidung der lithologischen Einheiten wurde anhand der Korngröße der Sedimente vorgenommen. Es wurden Sand-, Silt- und Tonsteine mit verschiedenen Übergängen (z. B. toniger Siltstein) unterschieden.

Bei den Untersuchungen zur Tektonik wurden Bewegungsbahnen der Störungszonen im Festgestein aufgenommen. Ist ein Gestein in Bruchzonen (z. B. Klüften, Schieferungsflächen) mit Mineralisationen (Quarz- und Erzmineralisationen) belegt, ist dies neben Quarzgängen ein deutlicher Hinweis auf eine Störungzone. Es wurden die Lagerungsverhältnisse der Bewegungsbahnen aufgenommen und die Art der Störung bestimmt. Da Störungszonen Flächen bilden, die im Schnitt mit der Oberfläche linienförmig durch das Gelände verlaufen, konnten Quarz- und Erzlesteine genutzt werden, um Störungen über weitere Strecken zu verfolgen. Um den vermuteten Verlauf überdeckter Störungszonen zu verfolgen, wurden Bodenluftmessungen durchgeführt, da junge aktive Störungszonen Permeabilitätszonen in den Untergrund darstellen, aus denen Geogase aufsteigen können (vgl. Kapitel 3.1.3).

Zur Aufnahme des Lockersedimentes und der Bodenbeschaffenheit wurden Sondierungen durchgeführt. Mit Sondierungen wurden oberflächennahe Lockersedimente untersucht. Dabei wurden Bohrstöcke einen Meter tief in den Boden geschlagen (vgl. Kapitel 3.1.2.1). Zur Untersuchung der mineralogischen Zusammensetzung von Gesteinen und Sekundärmineralisationen wurden Gesteinsproben genommen und im Labor untersucht (siehe Kapitel 3.2).

3.1.2 Probenahme

3.1.2.1 Probenahme von Gesteinen und Lockersedimenten

Im UG Raum Koblenz wurden Gesteinsproben von Festgesteinsaufschlüssen oder Lesesteinen genommen. Es wurden sowohl Gesteine und Gangquarze, die mit Mineralisationen belegt oder durchsetzt waren, als auch Gesteine ohne Sekundärmineralisationen beprobt. Auf Amrum wurden Lockersedimentproben und -profile durch 1 m Bohrstocksondierungen ($\varnothing = 21 \text{ mm}$) gewonnen. Anhand der Farbe, der Korngrößenzusammensetzung und von Pflanzenresten wurden Horizonte untergliedert. Es wurden Proben aus einzelnen Horizonten oder Mischproben des Gesamtprofils genommen. Alle Proben wurden im Labor auf ihre Mineral- und Elementzusammensetzung untersucht (vgl. Kapitel 3.2 und Anhang A.4).

3.1.2.2 Beprobung der Bodenluft

Erhöhte Konzentrationen von Helium (He) in der Bodenluft gegenüber der Atmosphärenkonzentration deuten auf Gaswegsamkeiten im Untergrund hin, die Hinweise auf mögliche Störungszonen geben (HERMANSSON *et al.* 1991). In der vorliegenden Arbeit wurden die Bodenluftproben möglichst in einer Tiefe von einem Meter genommen (SCHIFFER 1996), um meteorologische Einflussfaktoren so gering wie möglich zu halten (vgl. Kapitel 5.2.1).

Die zu Beginn der Untersuchungen eingesetzte Bodenluftsonde der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Bodenluftsonde BGR) besteht aus einem etwa 1,45 m langem Stahlrohr ($\varnothing_{\text{Außen}} = 10,9 \text{ mm}$, $\varnothing_{\text{Innen}} = 5,0 \text{ mm}$) mit einem eingezogenen dünneren Rohr (Stahlseele; $\varnothing_{\text{Außen}} = 3,8 \text{ mm}$, $\varnothing_{\text{Innen}} = 0,99 \text{ mm}$) (vgl. Abbildung 3.1). Mit dem dünnen Rohr wird das Totvolumen in der Sonde ($\approx 2,2 \text{ ml}$; Volumen der Stahlseele) so gering wie möglich gehalten. Auf die untere Öffnung der Sonde wird vor dem Einschlagen eine Metallspitze aufgesetzt, die das Zusetzen der Sonde mit Sediment verhindert. Nach dem Einschlagen mit einem Gleithammer (vgl. Abbildung 3.1) bis in eine Tiefe von ca. 1,10 m wird die Sonde etwa ein bis zwei Zentimeter herausgezogen und dadurch von der Metallspitze getrennt, so dass die untere Sondenöffnung frei gegeben wird.

Auf die obere Öffnung wird ein mit Septen und Dichtungen versehener Aufsatz aufgesetzt (vgl. Abbildung 3.1), um eine Kontamination der Bodenluftprobe durch Atmosphärenluft bei der Probenahme zu vermeiden. Mit einer 20 ml Spritze werden zunächst 20 ml (fast das Zehnfache des Totvolumens der Stahlseele) zum Spülen der Sonde entnommen. Dann werden noch einmal 20 ml Bodenluft als Probe entnommen und in sogenannte Gasfrösche überführt. Diese Gasfrösche bestehen aus zwei Edelstahlplatten, die miteinander laserverschweißt sind. Zum Einbringen der Probe ist an den Gasfrosch ein Gewindestück mit innenliegenden Septen angebracht, welches zusätzlich mit einer Bleiplatte verschlossen wird (vgl. Abbildung 3.1). Nach SCHIFFER (1996) beträgt der Verlust von He aus der Probe bei Lagerung von einem Tag in den Gasfröschen bis zu 10% der Ausgangskonzentration an He .

Bodenluftprofile und Langzeitmessungen

Um Störungszonen in den Untersuchungsgebieten nachzuweisen, wurden entlang verschiedener Profile im Abstand von 10 m bis 15 m Bodenluftproben entnommen, in Gasfrösche überführt und zeitnah gemessen.

Um Tagesvariationen der He -Konzentration in der Bodenluft zu bestimmen, wurden im UG Raum Koblenz an drei und im UG Amrum an fünf Standorten Proben über einen Zeitraum von 24 h genommen. Auf Amrum wurde zusätzlich eine 10 h Messungen durchgeführt.

An den Probenahmestellen zur Langzeitmessung wurden die Bodenluftsonden für den Zeitraum der Messkampagne im Boden belassen. Um zu verhindern, dass Feuchtigkeit in die Sonden ein-

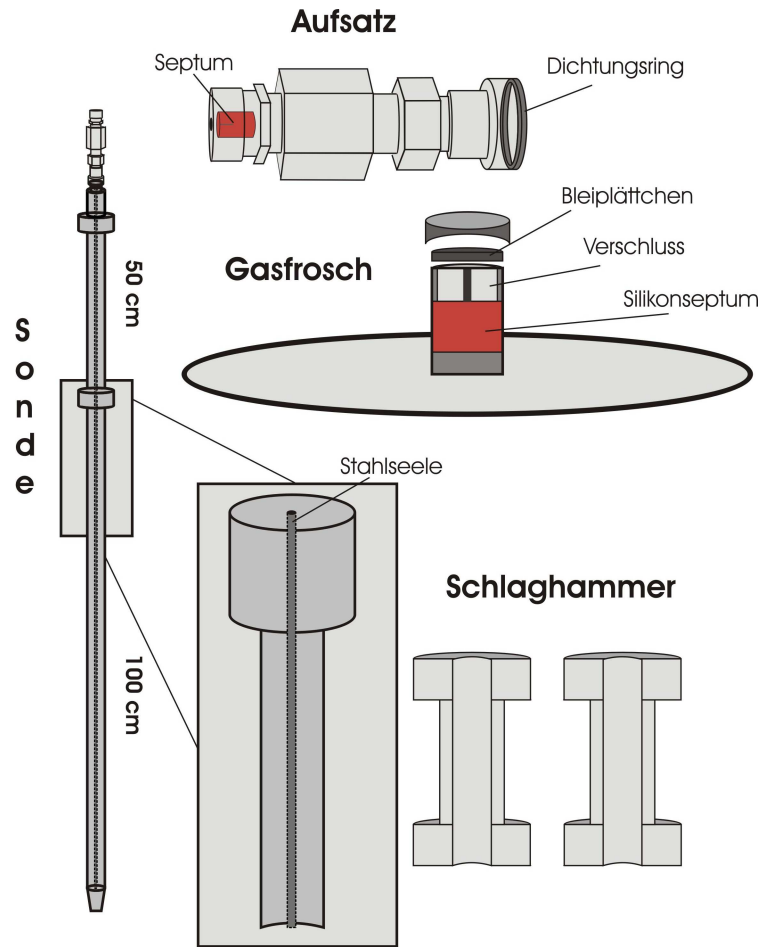


Abbildung 3.1: Aufbau der Bodenluftsonde BGR mit Aufsatz, Gasfrosch und Schlaghammer.

dringen konnte, wurde der Sondenkopf nach jeder Probenahme mit einer Saughilfe aus Gummi verschlossen. Die Bodenluftproben wurden im Abstand von einer Stunde bzw. 30 *min* genommen. Bei einer Messkampagne auf der Insel Amrum wurde der Probenahmeabstand etwa eine Stunde vor und nach Niedrig- bzw. Hochwasser auf 15 *min* verkürzt (vgl. Kapitel 4.1.4). Die Bodenluftproben wurden auch bei den Langzeitmessungen zeitnah gemessen.

3.1.2.3 Probleme bei der Probenahme

Die Bodenluftprobenahme im Testgebiet bei Hünenfeld stellte sich vor allem wegen des hohen Anteils an Gesteinsbruchstücken im Lockersediment und Boden als schwierig dar. Diese Gegebenheiten führten dazu, dass die Bodenluftsonden BGR sehr schnell zerschossen wurden. Alternativsonden werden zur Zeit im Rahmen einer Examensarbeit entwickelt und getestet.

3.1.3 Bodenluftanalyse

3.1.3.1 Bodenluft und Geogas

Nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz § 2(1) (BBODSCHG 1998) ist der Boden die oberste Schicht der Erdkruste einschließlich der flüssigen Bestandteile (Bodenlösung) und der gasförmigen Bestandteile (Bodenluft), ohne Grundwasser und Gewässerbetten. Die Bodenluft ist demnach die Gasphase in den Porenräumen, die nicht mit Wasser gefüllt sind.

Unbeeinflusste Bodenluft enthält dieselben stofflichen Komponenten wie die Atmosphäre (vgl. Tabelle 3.1). Neben den Hauptkomponenten Stickstoff (N_2), Sauerstoff (O_2) und Kohlendioxid (CO_2) kommen in variabler Zusammensetzung weitere Stoffe wie z. B. Argon (Ar), Helium (He), Radon (Rn), Methan (CH_4) und Schwefeldioxid (SO_2) in der Bodenluft vor.

Tabelle 3.1: Die Zusammensetzung der Atmosphäre unter besonderer Berücksichtigung der Edelgase (aus OZIMA & PODOSEK 1983).

Bestandteil	Massenanteil [%]	Volumenanteil
Sauerstoff (O_2)	23,14	20,93 %
Stickstoff (N_2)	75,91	78,08 %
Kohlendioxid (CO_2)	0,047	0,031 %
Helium (He)	0,00007	5240 <i>ppb</i>
Neon (Ne)	0,0013	181800 <i>ppb</i>
Argon (Ar)	1,288	0,934 %
Krypton (Kr)	0,00033	1140 <i>ppb</i>
Xenon (Xe)	0,00004	87 <i>ppb</i>

Abweichungen in der Zusammensetzung der Bodenluft gegenüber der Atmosphärenluft können auf anthropogene (z. B. CO_2 -Speicherung im Untergrund), biogene (z. B. CH_4 durch Zersetzungsprozesse organischen Materials) und geogene (z. B. durch den Zerfall von ^{40}K) Stoffe zurückgeführt werden. Prozesse, die zur Veränderung der Bodenluft gegenüber der Atmosphärenluft führen, können unmittelbar im Boden, in der Erdkruste oder im Erdmantel stattfinden. So ist durch Wurzelatmung, Atmung von Bodenorganismen und Stoffwechselprozessen von Mikroorganismen die Sauerstoffkonzentration der Bodenluft geringer und die Kohlendioxidkonzentration der Bodenluft höher als die in der Atmosphäre. Durch den Aufstieg von magmatischen Gasen aus dem Erdmantel oder der Erdkruste gelangen geogene Komponenten in die Bodenluft und können dort zu erhöhten Konzentrationen gegenüber denen in der Atmosphärenluft führen.

Der Transport von Gasen aus der Tiefe kann durch unterschiedliche Prozesse hervorgerufen werden, die sich überlagern können. Konzentrationsunterschiede führen zu einem Gasanstieg durch Diffusion. Advektiver Transport wird durch Druckunterschiede ausgelöst. Ein weiterer Transportpfad stellt Wasser für wasserlösliche Gase dar. Beim Aufstieg können diese im Grundwasser gelöst werden.

Nach HERMANSSON *et al.* (1991) können Messungen der Konzentrationen geogener Gase (Geogase) in der Bodenluft und im Grundwasser genutzt werden, um den Verlauf von verdeckten

Störungszonen zu verfolgen. Weiter kann geprüft werden, ob eine Störungzone gaspermeabel ist. In der vorliegenden Arbeit wurde He in der Bodenluft als geogener inerter Tracer genutzt, um tiefreichende Störungszonen nachzuweisen, die von Lockersedimenten oder Boden überlagert werden. Der Vorteil von He gegenüber anderen Stoffen wie z.B. Rn zur Verfolgung von Störungszonen ist, dass He als stabiles Isotop im Gegensatz zu Rn , das als Zwischenglied unbeständig ist, weitgehend unabhängig von der mineralogischen Zusammensetzung des umgebenden Gesteins ist (SCHIFFER 1996). Rn wird auch oberflächenah durch den Zerfall uranhaltiger Minerale in Graniten gebildet (WIEGAND 1994). Bei natürlich vorkommendem Rn handelt es sich um ein Gemisch aus ^{222}Rn , ^{220}Rn und ^{219}Rn . In diesem Gemisch ist ^{222}Rn mit einer Halbwertszeit von 3,82 d das langlebigste Isotop. Im Gegensatz zu den stabilen He -Isotopen ist die Migrationsweite von Rn durch die Halbwertszeit beschränkt. Aus dem tieferen Untergrund kann Rn nur durch einen sehr raschen Aufstieg in einem Gasstrom an die Oberfläche gelangen. In Gebieten mit oberflächennahen uranführenden Mineralen jedoch kann flächendeckend austretendes Rn Störungszonen verschleiern (vgl. Abbildung 3.2).

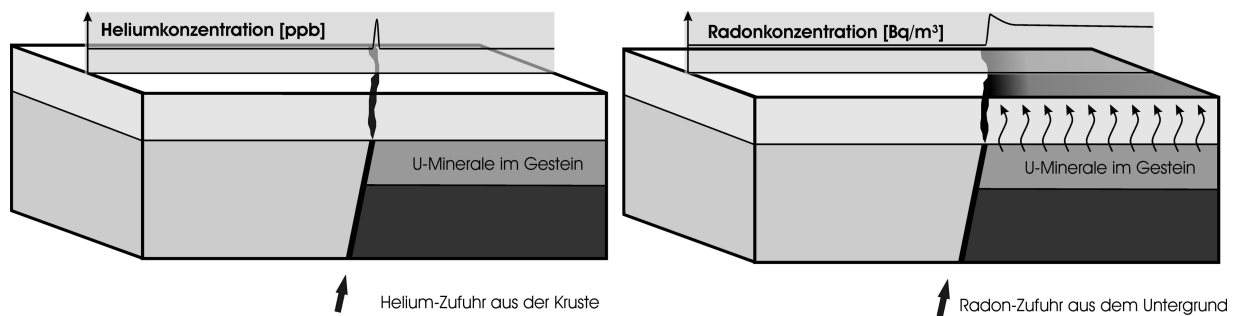


Abbildung 3.2: Beeinflussung der Bodenluft durch oberflächennahe uranreiche Gesteine (aus SCHIFFER 1996, verändert).

He hingegen tritt auch in Gebieten mit oberflächennahen uranhaltigen Mineralen über Störungszonen im allgemeinen als relativ scharf begrenzte Anomalie auf, während bei gleicher tektonischer Situation keine scharf begrenzte Rn Anomalie zu erkennen ist.

3.1.3.2 Helium

Heliumisotope und ihre Entstehung

He ist nach Wasserstoff (H_2) das zweithäufigste Element im Universum. Der größte Anteil des He entstand bei der Entstehung des Universums. Des Weiteren wird He durch Kernfusion von Wasserstoff in Sternen gebildet. Von He treten heute auf der Erde zwei stabile natürliche Isotope (3He und 4He) auf, wobei 4He das häufigere Isotop ist.

3He entsteht hauptsächlich durch den Zerfall von Tritium (3H (β^-)) (vgl. Tabelle 3.2). Der größte

geogene Anteil des irdischen ${}^3\text{He}$ stammt überwiegend aus der Entstehungszeit der Erde und ist im Mantel als primordiales He gespeichert. Eine meist unbedeutende geogene, radiogene Quelle von ${}^3\text{He}$ stellen Lithiumminerale dar (Kernreaktion: ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}(\beta^-)$). Eine weitere ${}^3\text{He}$ -Quelle ist die kosmische Strahlung (z. B. Sonnenwinde) (JOHNSON & AXFORD 1969). Durch intensive Kernwaffentests vor allem in den 50er und 60er Jahren wurden große Mengen anthropogenen Tritiums in die Atmosphäre freigesetzt (Bombenpeaks), die zu ${}^3\text{He}$ zerfallen sind.

Tabelle 3.2: Halbwertszeiten der Mutterisotope von Helium (aus PORCELLI *et al.* 2002).

Mutterisotop	Halbwertszeit	Tochterisotop	Ausbeute (Atome/Zerfall)
${}^3\text{H}$	12,26 a	${}^3\text{He}$	1
${}^{238}\text{U}$	4,468 Ga	${}^4\text{He}$	8
		${}^{136}\text{Xe}$	$3,6 \cdot 10^{-8}$
${}^{235}\text{U}$	0,7038 Ga	${}^4\text{He}$	7
${}^{232}\text{Th}$	14,01 Ga	${}^4\text{He}$	6
		${}^{136}\text{Xe}$	$\leq 4,2 \cdot 10^{-11}$

${}^4\text{He}$ entsteht überwiegend durch den natürlichen radioaktiven Zerfall von Elementen wie Uran (U) und Thorium (Th) (vgl. Tabelle 3.2), die vor allem in der Erdkruste vorkommen. Es gibt aber auch einen geringeren Anteil an primordialen ${}^4\text{He}$ im Erdmantel. Der charakteristische Anteil des primordialen ${}^4\text{He}$ am Gesamt- ${}^4\text{He}$ -Anteil des Erdmantels liegt nach OZIMA & PODOSEK (1983) bei 10 %. Durch das ständige Entweichen des He stellt sich ein Gleichgewicht der He -Isotope in der Atmosphäre ein. Einen Überblick über den He -Fluss auf der Erde gibt Tabelle 3.3.

Tabelle 3.3: Die globale Heliumbilanz (aus OZIMA & PODOSEK 1983).

	${}^3\text{He}$ -Fluss (Atome/(cm^2s^{-1}))	${}^4\text{He}$ -Fluss (10^6 Atome/(cm^2s^{-1}))
Quellen:		
Fluss (Ozeane)	$\approx 4,2$	0,3
Fluss (Land)	0,2	2,0
galaktische Strahlung	0,6	-
kosmischer Staub und Meteorite	4,0	0,01
Wechselwirkung der galaktischen Strahlung mit Materie	$\approx 0,6$	-
Σ	8,8	2,3
Verluste:		
thermisches Entweichen	5,9	0,06
nicht-thermisches Entweichen	4,2	3,0
Σ	10,1	3,1

Isotopenverhältnisse

Die Isotopenverhältnisse $R = \frac{{}^3\text{He}}{{}^4\text{He}}$ der stabilen He -Isotope ${}^3\text{He}$ und ${}^4\text{He}$ verschiedener geologischer Positionen (z. B. Kruste, mittelozeanischer Rücken oder Hot Spots) unterscheiden sich deutlich von der atmosphärischen Isotopenzusammensetzung R_a . Da in der Erdkruste radiogene Prozesse die Haupteintragsquelle von He darstellen, liegt das Isotopenverhältnis in der Erdkruste bei $R \approx 1 \cdot 10^{-7}$. Das Isotopenverhältnis im Erdmantel ist mit $R \approx 1 \cdot 10^{-5}$ etwas größer, da das meiste geogene ${}^3\text{He}$ im Erdmantel gebunden ist. So lässt sich anhand des Isotopenverhältnisses die Herkunft des He bestimmen (vgl. Abbildung 3.3).

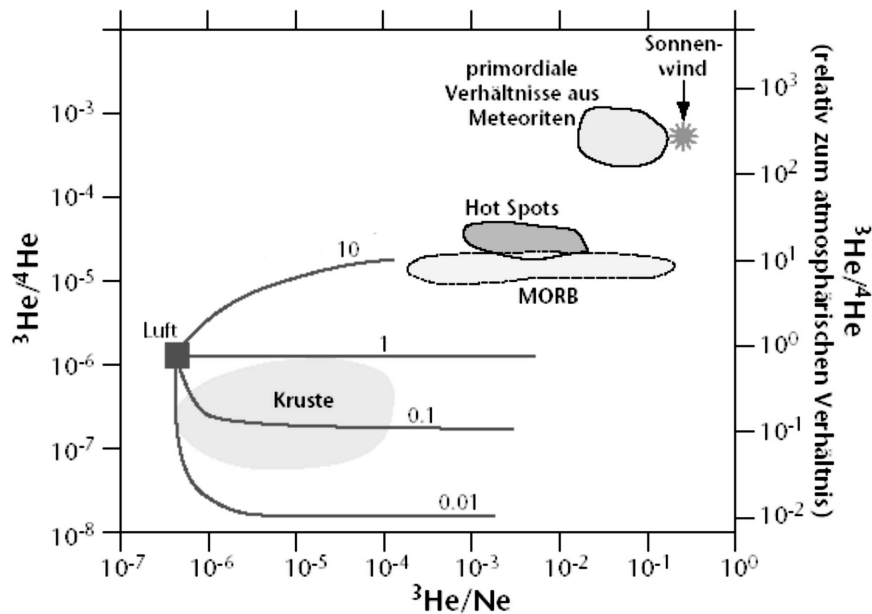


Abbildung 3.3: Heliumisotopenverhältnisse von Heliumproben unterschiedlicher Herkunft (nach LUPTON 1983, verändert).

Das Isotopenverhältnis der Atmosphäre wird durch ein Gleichgewicht zwischen He -Gewinn aus Kruste, Mantel und kosmischer Strahlung und He -Verlust in den Weltraum eingestellt (vgl. Tabelle 3.3). Aufgrund der raschen Durchmischung (≈ 10 a) der Atmosphäre und der langen Aufenthaltszeit von He in der Atmosphäre (10^6 a) kann das Isotopenverhältnis R_a in atmosphärischer Luft global als konstant angesehen werden und wird als He -Standardverhältnis genutzt (LUPTON 1983). Zur besseren Vergleichbarkeit der He -Isotopenverhältnisse R , werden sie relativ zum atmosphärischen He -Isotopenverhältnis R_a dargestellt (vgl. Abbildung 3.3). He -Isotopenverhältnisse $\frac{R}{R_a} > 1$ stehen für Mischproben aus Atmosphärenluft und Gasen aus dem Erdmantel ($\frac{R}{R_a} \approx 10$). Werte von $\frac{R}{R_a} \leq 1$ deuten auf eine Durchmischung von atmosphärischer Luft mit Gasen aus der Kruste ($\frac{R}{R_a} \leq 0,1$) hin.

Das atmosphärische $\frac{{}^3\text{He}}{{}^4\text{He}}$ Verhältnis R_a wird von verschiedenen Autoren mit unterschiedlichen

Werten angegeben, wobei das von CLARKE *et al.* (1976) angegebene Isotopenverhältnis von $R_a = (1,384 \pm 0,006) \cdot 10^{-6}$ weithin akzeptiert wird.

Atmosphärenluft als Heliumstandard

Die Konzentration von He in der unteren Atmosphäre kann wegen der raschen Durchmischung der Atmosphäre ebenfalls als konstant angesehen werden. Einzelne Autoren geben sie jedoch mit unterschiedlichen Werten an (vgl. Tabelle 3.4).

Tabelle 3.4: Die Heliumkonzentration in der Atmosphäre.

Autor	Heliumkonzentration [ppb]	Fehler [ppb]
HOLLAND & EMMERSON (1987)	5220	$\pm 4,1$
OZIMA & PODOSEK (1983)	5240	± 50

In der vorliegenden Arbeit wurde die von HOLLAND & EMMERSON (1987) angegebene Atmosphärenkonzentration von $c_{Atm} = 5220 \pm 4,1$ ppb als He -Standardkonzentration zur Berechnung der He -Konzentrationen von Bodenluftproben genutzt (vgl. Kapitel 3.1.3.3).

Aufstiegsmechanismen von Helium und Geogas

Obwohl He äußerst mobil ist, reicht die molekulare Diffusion aus den Mineralkörnern („volume diffusion“) als Transportmechanismus für He aus dem Innern der Erde in die Atmosphäre nicht aus. Die charakteristische Diffusionslänge ℓ_D von He lässt sich nach OZIMA & PODOSEK (1983) mit der Gleichung

$$\ell_D = \sqrt{D \cdot t} \quad (3.1)$$

berechnen, wobei D der Diffusionskoeffizient und t die Diffusionsdauer ist.

Für basaltische Gläser mit einem mittleren Diffusionskoeffizienten von $10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ (KURZ & JENKINS 1981) hätte ein He -Atom, welches vor $4,5 \cdot 10^9 \text{ a}$ entstand nach Gleichung (3.1) eine Strecke von 120 m zurückgelegt. Nach dem Austritt aus den Mineral kommt es zu einem beschleunigten Transportmechanismus für He als Porenfluid („effective diffusion“). In Tabelle 3.5 sind die Diffusionskoeffizienten verschiedener Gesteine und die dazugehörigen, nach Gleichung (3.1) berechneten zurückgelegten Diffusionsdistanzen für $t = 4,5 \cdot 10^9 \text{ a}$ angegeben. Der Diffusionskoeffizient von He in Wasser beträgt $D_W = 2,12 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Damit kann ein He -Atom in stehenden Gewässern in $t = 4,5 \cdot 10^9 \text{ a}$ eine Distanz von $17,3 \text{ km}$ durch Diffusion zurücklegen. Der Diffusionskoeffizient von He in Luft liegt bei einer Lufttemperatur von $25 \text{ }^\circ\text{C}$ bei $D_m = 0,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Ein He -Teilchen, das vor $4,5 \cdot 10^9 \text{ a}$ entstand, hat nach Gleichung (3.1) in Luft eine Distanz von ca.

1000 km zurückgelegt. Es kann von einer räumlich und zeitlich konstanten He -Entgasung aus der Erdkruste durch Diffusionsprozesse ausgegangen werden.

Tabelle 3.5: Diffusionsweiten für Helium in verschiedenen Gesteinen für $t = 4,5 \cdot 10^9$ a.

Autor	effektiver Diffusionskoeffizient D [m^2/s]	Diffusionsweite ℓ_D [m] nach Gl. (3.1)
TORGENSEN & CLARKE (1985, 1987)	$1 \cdot 10^{-10} m^2/s$ bis $1 \cdot 10^{-9} m^2/s$ (Kruste)	1,2 km bis 11,9 km
ETIOPE & MARTINELLI (2002)	$4 \cdot 10^{-8} m^2/s$ (Kalkstein)	75 km
	$1 \cdot 10^{-13} m^2/s$ (Gestein, wassergesättigt bei 25 °C)	120 m

He aus tieferen Regionen wird advektiv-diffusiv entlang von Wegsamkeiten (Störungen, Schichtgrenzen, Klüften, usw.) transportiert (ETIOPE & MARTINELLI 2002). Wegen der geringen Konzentration von He in der Kruste und Mantel (wenige ppm) kann es keine reine Gasphase bilden, die auf Druckunterschiede reagieren kann (ETIOPE & MARTINELLI 2002). Der Transport von He erfolgt als Spurengas in einem Trärgas (z. B. CO_2 , CH_4 und N_2). Dieses Gasgemisch wird im Folgenden als Geogas bezeichnet.

Bei advektivem Transport wird der Aufstieg durch äußere Kräfte (Druckgradienten) hervorgerufen. Auch der Aufstieg von He aufgrund der geringeren Dichte der Edelgase wird von ETIOPE & MARTINELLI (2002) als advektiver Transport bezeichnet. Druckunterschiede, die zum Aufstieg von Gasen aus dem Untergrund führen, werden durch induzierten Stress, Änderung des lithostatischen Auflastdrucks, Störungsbildung, heiße Magmen im Untergrund und in Oberflächennähe durch die Änderung des atmosphärischen Drucks verursacht. In oberflächennahen Gesteinen wird der advektive Transport stark von meteorologischen Faktoren beeinflusst (HINKLE 1994). Sobald advektiver Transport stattfindet, kann die Diffusion vernachlässigt werden.

Wie beim diffusiven Transport kann beim advektiven Transport ein Aufstieg in wässriger oder gasförmiger Phase erfolgen (vgl. Abbildung 3.4). Dabei lassen sich verschiedene Systeme unterscheiden:

- In trockenen Systemen erfolgt der Aufstieg von Geogas in Porenräumen oder Rissen (Klüften, Störungen usw.) als Gasphase.
- In wassergesättigten Systemen werden Geogase in der fluiden Phase gelöst und sie steigen mit der gleichen Geschwindigkeit wie das Transportmedium auf. Wenn der Gasdruck des Geogases P_g jedoch größer als die Summe aus hydrostatischem Druck P_w und Kapillardruck P_k ist, steigt das Geogas als Gasphase auf.
- In großen Tiefen kann der Transport von Geogas in überkritischen Lösungen ($T > 400$ °C) erfolgen.

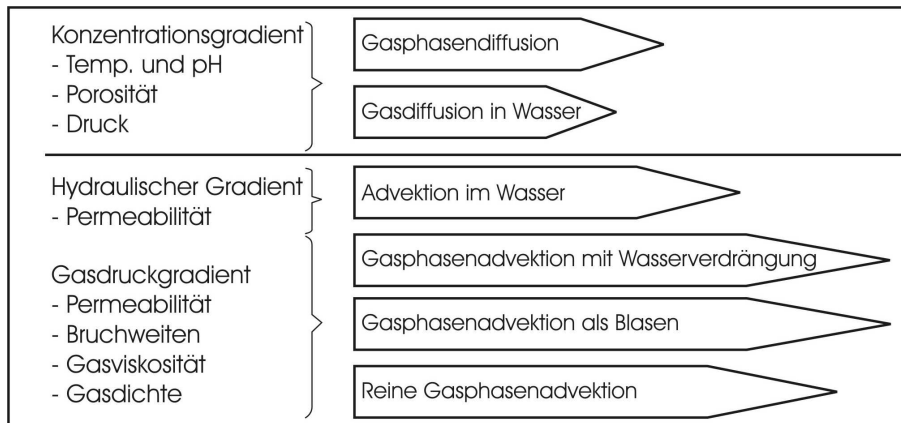


Abbildung 3.4: Treibende Kräfte verschiedener Transportmechanismen von Edelgasen im Untergrund (aus ETIOPE & MARTINELLI 2002), verändert.

Ob Geogas in Form von Mikroblasen, länglichen Blasen (slugs) oder als kontinuierlicher, trockener Gasstrom aufsteigt, hängt zum einen von der Öffnungsweite der Risse und zum anderen von Veränderungen des Gasdrucks und der damit zusammenhängenden Gasflussrate ab. Bei niedrigen Flussraten und großen Öffnungsweiten kommt es zur Bildung von Mikroblasen. Nimmt die Öffnungsweite im Aufstiegskanal (Riss) ab oder die Flussrate zu, kommt es zur Wasserverdrängung durch die Gasphase bis hin zur Bildung eines reinen Gasstroms (vgl. Abbildung 3.5). Die rein

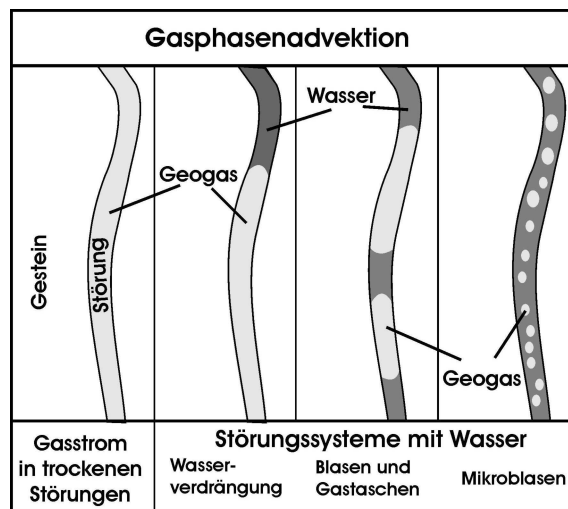


Abbildung 3.5: Geogastransport trockener Systeme und Wasser-Gas-Systeme aus dem Untergrund (aus ETIOPE & MARTINELLI 2002, verändert).

advective Aufstiegsgeschwindigkeit von Geogas liegt im Bereich von wenigen Metern bis zu wenigen Kilometern pro Tag (PRICE 1986, BROWN 2000 und HEINICKE & KOCH 2000). Dabei ist die Aufstiegsgeschwindigkeit als reiner Gasstrom am größten, da hier der kontrollierende Faktor die Gasviskosität ist (BROWN 2000). Beim Blasenaufstieg ist der kontrollierende Faktor die höhere

Viskosität des Wassers, die zu einer geringeren Aufstiegsgeschwindigkeit führt. In Gesteinen mit Öffnungsweiten der Risse im Zentimeterbereich und beim Aufstieg in wässrigen Lösungen kann die Aufstiegsgeschwindigkeit mehrere zehner Kilometer pro Tag betragen (CLIFT *et al.* 2005).

3.1.3.3 Bodenluftanalyse auf Helium

Bei dem zur Messung der He -Gesamtkonzentrationen in der Bodenluft genutzten Massenspektrometer (vgl. Abbildung 3.6) handelt es sich um ein transportfähiges, mit zwei Personen tragbares, modifiziertes He -Lecksuchgerät (alcatel ASM 142) der Firma adixen. Mit der Firma UM Gas aus



Abbildung 3.6: Das Arbeitsgerät, ein modifiziertes Heliumlecksuchgerät.

Gevensberg wurde das Lecksuchgerät umgerüstet, um Probemengen von 20 ml als Einzelmessung untersuchen zu können. Die Möglichkeit, das Massenspektrometer im Lecksuchmodus (kontinuierliches Ansaugen der Probe) zu betreiben, blieb erhalten, so dass Dauermessungen an einem Standort im Gelände durchgeführt werden können.

Aufbau und Funktionsweise des Messgerätes

Drei Einheiten bauen das Analysesystem auf (vgl. Abbildung 3.7). Die erste Einheit, der Bereich des Vorvakuums, umfasst den Probeneinlass und die Drehschieberpumpe. Die Drehschieber- bzw. Vorvakuumpumpe wird benötigt, damit die Turbomolekularpumpe mit einem Saugvermögen von $10 \text{ m}^3/\text{h}$ das Hochvakuum aufbauen und aufrechterhalten kann. Des Weiteren wird über die Drehschieberpumpe und das Ventil V_4 der kontinuierliche Probenfluss durch den Probeneinlass im Dauermessbetrieb gesteuert. Eine Turbomolekularpumpe und die Hochvakuumsäule bauen die

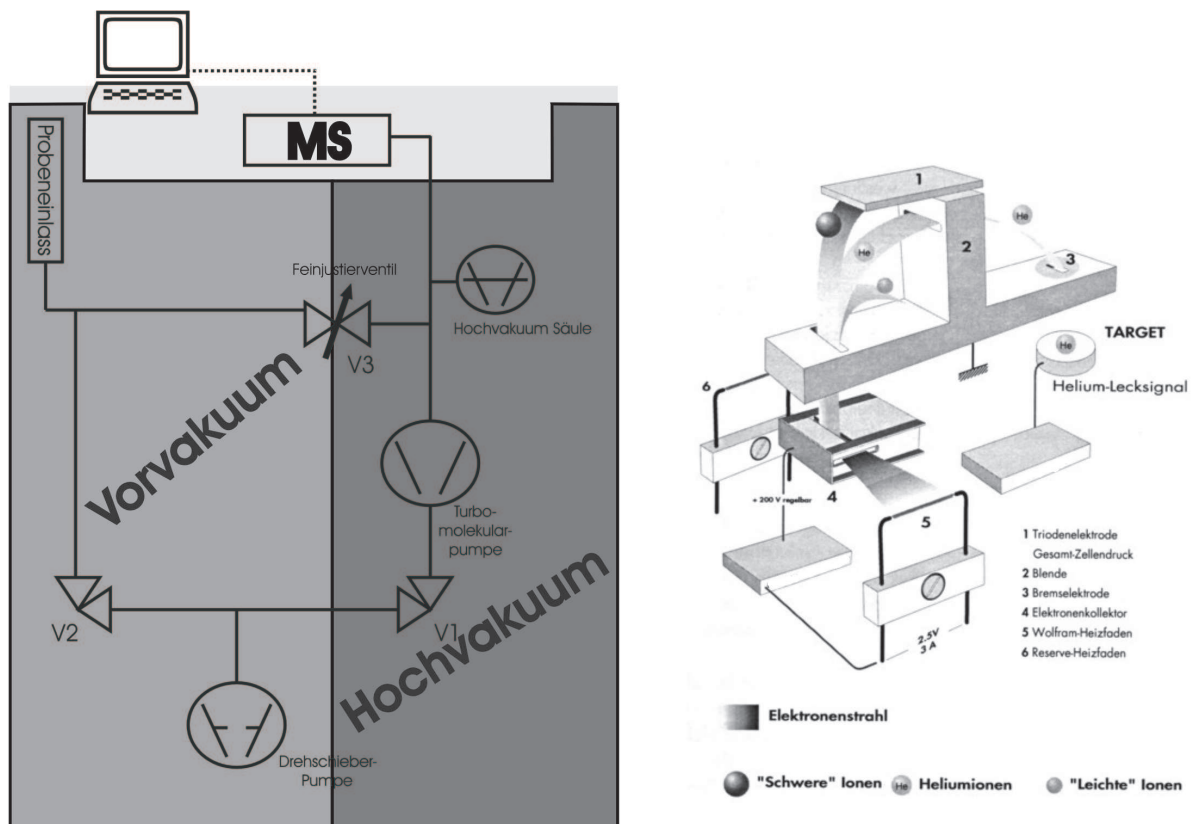


Abbildung 3.7: Prinzipskizze der Messanordnung zur Heliumanalyse (links) und Aufbau des Massenspektrometers (rechts).

zweite Einheit, den Hochvakuumbereich auf. Der Druck im Hochvakuumbereich wird durch die *UVC*-Anzeige (Ultra-Vacuum-Column) angezeigt. Bei der dritten Einheit handelt es sich um die Analysezelle (Spektrometerzelle) mit dem Massenspektrometer. Das Massenspektrometer ist fest auf die Massen drei und vier des *He* eingestellt und kann so selektiv *He* in der Bodenluftprobe nachweisen.

Das im Messgerät eingebaute Massenspektrometer besteht ebenfalls aus mehreren Einheiten (vgl. Abbildung 3.7). Die Filamente (Wolframheizfäden) werden durch Erhitzen zum Emittieren von Licht und Elektronen angeregt. Die Ionen werden durch eine angelegte Spannung zum Elektro-

nenkollektor beschleunigt und treffen dort mit hoher Energie auf die Probengasteilchen, die vom Probeneinlass durch das Vakuum bis zur Analysezelle gelangt sind. Durch den Zusammenstoß der Elektronen mit den neutralen Gasteilchen wird ein Elektron aus der Hülle herausgeschlagen und die Gasteilchen nehmen eine positive Ladung an. Durch eine Ziehspannung werden die geladenen Gasteilchen in ein Magnetfeld geleitet und dort in Abhängigkeit von ihrer Masse unterschiedlich stark von der ursprünglichen Flugbahn abgelenkt. Das Magnetfeld ist so eingestellt, dass nur die *He*-Atome die Blenden passieren und auf den Detektor treffen können. Durch das Auftreffen auf den Detektor wird ein Signal erzeugt, welches vom Messgerät als Leckrate angezeigt wird. Dieser Messwert ergibt sich aus der Anzahl von *He*-Atomen in einem Gasstrom, die pro Zeiteinheit den Detektor erreichen. Damit die Messwerte untereinander vergleichbar sind, wird bei jeder Messung der gleiche Gasfluss mit dem Feinjustierventil *V3* eingestellt.

Messung und Auswertung

Bei jeder Einzelmessung werden 20 ml Probengas in den evakuierten Probeneinlassraum eingegeben. Mit dem Ventil *V3* wird der Druck des Gesamtsystems (*UVC*-Druck) bei jeder Messung auf $P_G = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$ geregelt. Im *UVC*-Wert spiegelt sich die Druckdifferenz zwischen Probenvorratsraum und Analysekammer wider. Dieser Wert ist somit vom Volumen im Probenvorratsraum abhängig. Der *UVC*-Druck ist bei gleicher Ventileinstellung (Durchflussöffnung) und geringerem Probenvolumen geringer. Mit dem Druck im Gesamtsystem von $P_G = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$ und einer Pumpleistung der Hochvakuumpumpe von $Q_P = 2,78 \text{ l/s}$ lässt sich der Gasstrom q_G im Gesamtsystem als

$$q_G = P_G \cdot Q_P = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 2,78 \left[\text{mbar} \frac{\text{l}}{\text{s}} \right] = 1,35 \cdot 10^{-4} \left[\text{mbar} \frac{\text{l}}{\text{s}} \right] \quad (3.2)$$

berechnen.

Bei einem eingegebenen Probenvolumen von $V_B = 20 \text{ ml}$ und einem Luftdruck von etwa $P_{atm} = 1.000 \text{ mbar}$ lässt sich die Zeit t_e , in der der Probenvorrat aufgebraucht ist, mit der Gleichung

$$\begin{aligned} t_e &= \frac{V_B}{q_G} \cdot P_{atm} \\ &= \frac{0,02 \cdot 1000}{1,35 \cdot 10^{-4}} = \left[\frac{\text{l mbar}}{\text{mbar} \frac{\text{l}}{\text{s}}} \right] = 148148 \text{ s} = 41 \text{ h} \end{aligned} \quad (3.3)$$

berechnen.

Das Massenspektrometer zeigt eine Leckrate an, die von der Menge des *He* abhängt, die aus dem Probenvorratsraum im Gasstrom durch das Leck (Ventil *V3*) zum Massenspektrometer gelangt.

Die Leckrate q lässt sich mit der Gleichung

$$q = K \frac{P_1^2 - P_2^2}{\mu} \left[\text{mbar} \frac{\text{l}}{\text{s}} \right] \quad (3.4)$$

berechnen. Dabei ist μ die dynamische Viskosität des Gases, K ein Faktor, der von der Öffnungsweite des Ventils $V3$ (steigt beim Öffnen) abhängt, P_1 der höhere Druck und P_2 der niedrigere Druck des Gesamtsystems.

Die Druckdifferenz $P_1^2 - P_2^2$ zwischen Probenvorratsraum und Massenspektrometer spiegelt sich im Druck des Gesamtsystems (UVC -Wert) wider. Bei kleineren Probenvolumen stellt sich bei gleicher Öffnungsweite von $V3$ ein geringerer Druck im Gesamtsystem ein. Wird der UVC -Wert durch Nachregeln von $V3$ ($V3$ wird weiter geöffnet, damit wird K größer) auf den geforderten Wert von $5 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$ eingestellt, steigt auch der Anzeigenwert des Messgerätes an (s. Gleichung (3.4) und Abbildung 3.8).

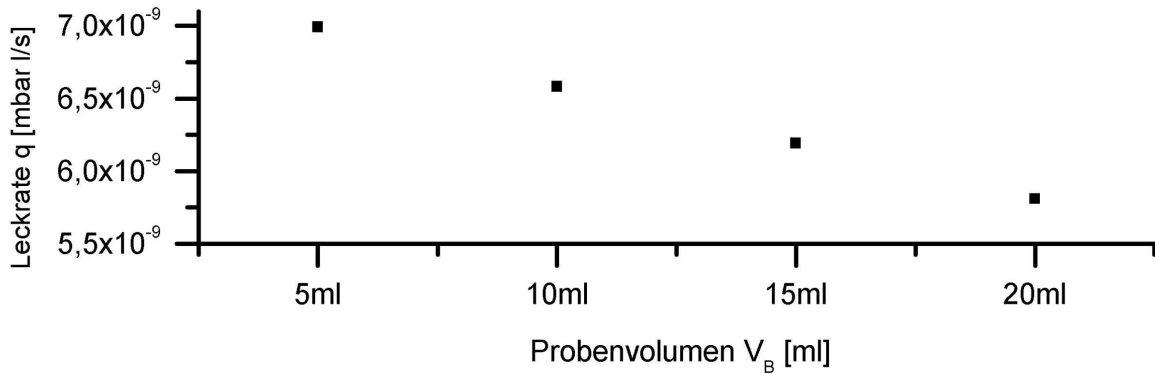


Abbildung 3.8: Abhängigkeit der Leckrate q vom Probenvolumen V_B bei gleicher Heliumkonzentration und $UVC = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$.

Da die Messwerte proportional zur Anzahl der pro Zeiteinheit den Detektor erreichenden He -Atome im Gasfluss ist, ist der Anzeigewert linear abhängig von der Leckrate. Somit bleibt das Verhältnis Ve_{anz} von Leckrate zu UVC -Wert (Gleichung (3.5)) bei gleichbleibender He -Konzentration, gleichem Probenvolumen von $V_B = 20 \text{ ml}$ im Probenvorratsraum und sich ändernden Gesamtdruckbedingungen gleich, da weniger Atome pro Zeiteinheit zum Detektor gelangen. Messungen haben gezeigt, dass dies näherungsweise für den Messbereich von $3 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$ bis $8 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$ gilt (vgl. Abbildung 3.9).

Zur Berechnung der He -Konzentration bei Einzelmessungen wird das Verhältnis

$$Ve_{anz} = \frac{\text{Leckrate}}{UVC\text{-Wert}} \left[\frac{\text{mbar}}{\text{mbar}} \cdot \frac{\text{l}}{\text{s}} = \frac{\text{l}}{\text{s}} \right] \quad (3.5)$$

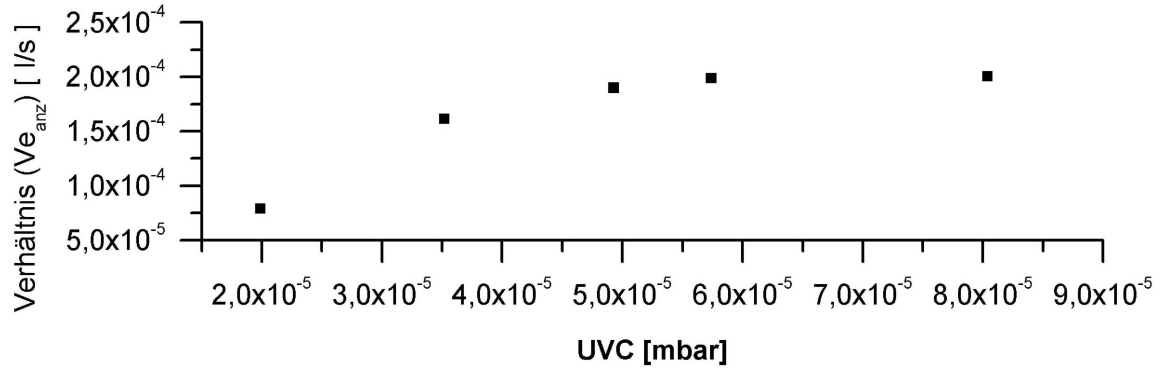


Abbildung 3.9: Abhängigkeit des Verhältnisses $V_{e_{anz}}$ vom Gesamtdruck $P_G = UVC$ im System bei $V_B = 20 \text{ ml}$ und gleichbleibender Heliumkonzentration.

von Leckrate zum Druck des Gesamtsystems genutzt, um geringe gerätebedingte Druckschwankungen des Gesamtsystems zu eliminieren, wobei als UVC -Druck ein Wert von $P_G = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$ eingestellt und ein Probenvolumen von $V_B = 20 \text{ ml}$ in den Probenvorratsraum eingegeben wird.

Ein am Lecksuchgerät angeschlossener PC zeichnet sekundlich die Leckrate und den UVC -Druck des Gesamtsystems auf. Ein Programm ermittelt aus den letzten 30 aufgenommenen Werten automatisch den Mittelwert $\bar{m}_{V_{e_{anz}}}$ des Verhältnisses $V_{e_{anz}}$, wobei bei allen Messungen die Standardabweichung $0,7 \% \pm 0,2 \%$ des Mittelwertes $\bar{m}_{V_{e_{anz}}}$ betrug. Bei jeder Einzelmessung werden die Druck- und Leckratenwerte eine Minute lang aufgezeichnet, sobald der UVC -Wert auf $P_G = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$ geregelt ist. Der am Ende der einminütigen Messung angezeigte Mittelwert wird genutzt, um die He -Konzentration in der Probe zu bestimmen.

Einzelmessung

Die Messprozedur zur Bestimmung der He -Konzentration in einer Bodenluftprobe besteht aus den folgenden drei Schritten, bei denen darauf geachtet werden muss, dass alle drei verwendeten Proben das gleiche Volumen haben. Die Messprozedur wird im Folgenden an einem Beispiel erläutert:

- Schritt 1: Atmosphärenluftprobe Al_1

$V_{e_{anz}Al_1} = 1,99 \cdot 10^{-4} \frac{\text{l}}{\text{s}}$ entspricht der atmosphärischen He -Konzentration c_{Atm} .

- Schritt 2: Bodenluftprobe

$V_{e_{anz}P} = 2,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{l}}{\text{s}}$ entspricht der unbekannten He -Konzentration c_P im Probenvorrats-

raum.

- Schritt 3: Atmosphärenluftprobe Al_2

$Ve_{anzAl_2} = 2,01 \cdot 10^{-4} \frac{l}{s}$ entspricht der atmosphärischen He -Konzentration c_{Atm} .

- Berechnung der He -Konzentration c_P im Probenvorratsraum P

Um Auswirkungen von Gerätedrift auf die Messungen zu minimieren, wird aus Ve_{anzAl_1} und Ve_{anzAl_2} der Mittelwert

$$Ve_{anzAtm} = \frac{Ve_{anzAl_1} + Ve_{anzAl_2}}{2} = 2,00 \cdot 10^{-4} \frac{l}{s} \quad (3.6)$$

gebildet. Aus der Gleichung

$$\frac{c_P}{c_{Atm}} = \frac{Ve_{anzP}}{Ve_{anzAtm}} \quad (3.7)$$

folgt, dass für die He -Konzentration c_P im Probenvorratsraum

$$c_P = \frac{Ve_{anzP}}{Ve_{anzAtm}} \cdot c_{Atm} \quad (3.8)$$

gilt. Damit folgt für die He -Konzentration c_P im Probenvorratsraum:

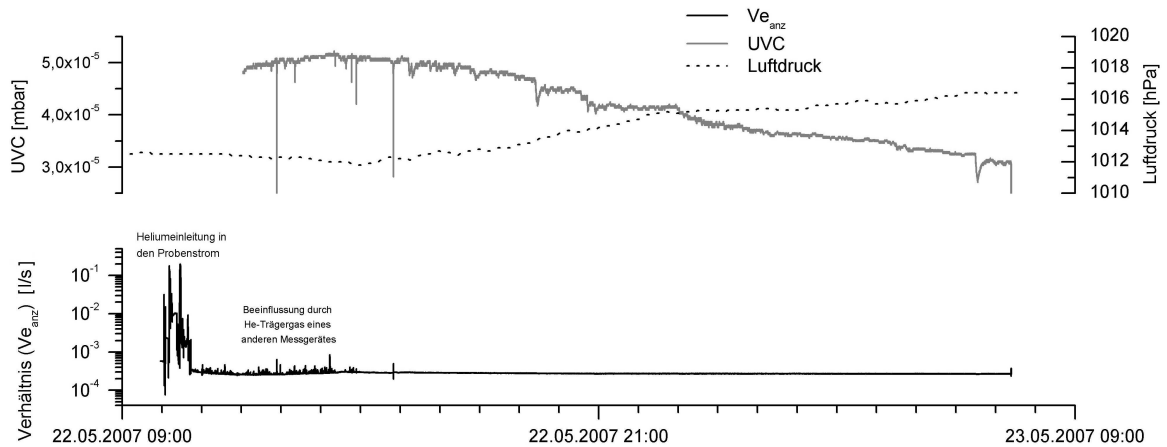
$$c_P = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{2,00 \cdot 10^{-4}} \cdot 5220 \left[\frac{\frac{l}{s}}{\frac{l}{s}} \cdot ppb \right] = 6225 \text{ ppb}. \quad (3.9)$$

Die He -Konzentration des Gases im Probenvorratsraum entspricht nicht der He -Konzentration der Bodenluftprobe, da zwischen dem Kippschalter und der Einspritzöffnung ein Bereich liegt, in dem das Vakuum nicht aufrecht erhalten werden kann. So gelangt Atmosphärenluft in diesen Bereich, die beim Einspritzen der Bodenluft mit in den Probenvorratsbereich gelangen kann. Die mit Gleichung (3.8) berechnete Konzentration c_P entspricht somit nicht der wirklichen He -Konzentration und muss korrigiert werden (vgl. Kapitel 3.3.2).

Die Messprozedur wurde schrittweise weiterentwickelt. So wurde zu Beginn der Untersuchungen nur der Wert der Leckrate aufgenommen und die Rohdaten mussten von Hand ausgewertet werden. Später wurde mit UM Gas ein Programm entwickelt, welches zusätzlich die UVC -Werte aufnimmt und die 30 sec Mittelwerte von Ve_{anz} kontinuierlich berechnet.

Dauermessung

Bei einer Dauermessung wird mit dem Ventil *V4* ein Gasstrom durch den Probeneinlassraum eingestellt. Aus dem Gasstrom können die *He*-Atome durch das Feinjustierventil *V3* in die Analysezelle gelangen. Auch hier wird das Verhältnis von Leckrate zu Druck im Hochvakuumbereich genutzt, um zu prüfen, ob eine Konzentrationsänderung während der Messung erfolgt (vgl. Abbildung 3.10). Der angeschlossene PC nimmt bei dieser Messmethode sekundlich die *UVC*-Werte



Die Luftdruckdaten der Klimastation Campus Essen wurden vom Fachgebiet Angewandte Klimatologie der Universität Duisburg-Essen bereitgestellt.

Abbildung 3.10: Änderung des Verhältnisses Ve_{anz} unter Zugabe von Helium in den Probegasstrom bei einer Dauermessung von Atmosphärenluft in Essen und die Änderung des Gesamtdrucks P_G (*UVC*-Wert) in Abhängigkeit des Luftdrucks.

und die Leckrate auf, speichert jedoch keine Mittelwerte ab. Bei einer Testkampagne wurde eine Messung der Atmosphärenluft in Essen durchgeführt. Bei dieser Messung hat sich gezeigt, dass sich Ve_{anz} nur bei Änderung der *He*-Konzentration im Probegasstrom ändert. Um eine Änderung der *He*-Konzentration im Probegasstrom hervorzurufen, wurde künstlich *He* eingeleitet (vgl. Abbildung 3.10). Bei der Messung der Atmosphärenkonzentration von *He* vom 22.05.2007 auf den 23.05.2007 blieb der Druck im Hochvakuum über die Dauer der Messung nicht konstant. Aus Abbildung 3.10 ist ersichtlich, dass ein Abfall des *UVC*-Wertes mit einem Anstieg des Luftdrucks einhergeht. Da jedoch das Verhältnis Ve_{anz} bei dieser Druckänderung gleich bleibt, muss dieses Phänomen bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden. Weitere Untersuchungen zu Langzeitmessungen mit der Dauermessmethode werden im Rahmen eines Projektes des Fachgebietes Geologie von PETER JANSSEN am Institut für Geografie der Universität Duisburg-Essen durchgeführt.

3.2 Laborarbeit

Von den im Gelände genommenen Gesteins- und Sedimentproben sowie den Mineralisationen auf Bruchzonen und Quarzgängen wurde im Labor die Mineral- und Stoffzusammensetzung mittels Röntgenfluoreszenzspektrometrie (RFA) und Röntgendiffraktometrie (RDA) bestimmt.

3.2.1 Probenaufbereitung

Die Gesteinsproben, die auf ihre stoffliche und mineralogische Zusammensetzung untersucht wurden, wurden mit einem Hammer zerkleinert. Die Bruchstücke sollten nicht größer als 10 cm^3 sein. Bei Mineralbelägen wurde mit einem Spatel der Belag von der Gesteinsprobe abgelöst. Die Proben wurden zunächst im Trockenschrank bei $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ getrocknet, bevor sie weiterverarbeitet wurden.

Die weitere Aufbereitung war bei allen Proben gleich. Das Material wurde mit einer Scheibenschwingmühle mit Wolfram-Carbit-Einsatz fein zermahlen (Korndurchmesser: $5\text{ }\mu\text{m}$ bis $10\text{ }\mu\text{m}$). Von der zermahlenden Probe wurden 4 g mit $0,9\text{ g}$ Hoechst Wachs C verdünnt und in einem Achatmörser homogenisiert. Mit einem Druck von 40 kN wurden die homogenisierten Proben zu Tabletten mit einem Durchmesser von 32 mm gepresst. Die so hergestellten Presstabletten wurden mit der RFA untersucht. Die gemahlene Probe wurde als Schüttprobe mit der RDA untersucht.

3.2.2 Röntgenfluoreszenzspektroskopie und Röntgendiffraktometrie

Mit der Röntgenfluoreszenzspektroskopie kann die Elementhäufigkeit in einer Probe gemessen werden, während mit der Röntgendiffraktometrie die Mineralphasen einer Probe bestimmt werden können.

3.2.2.1 Elementbestimmung mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA)

Die Haupt- und Spurenelemente der Gesteins- und Mineralbelagsproben wurden mittels einer energiedispersiven Röntgenfluoreszenzanalyse bestimmt. Mit dem Spectro XLAB 2000 können alle Elemente mit einer Ordnungszahl größer Zehn bestimmt werden. Bei der Röntgenfluoreszenzspektroskopie werden durch energiereiche Röntgenstrahlung Elektronen aus den inneren Schalen der Atome in der Probe auf weiter außen liegende Schalen gehoben. Die frei gewordenen Elektronenpositionen werden durch andere zurückfallende Schalelektronen aufgefüllt. Beim Zurückfallen wird überschüssige Energie in Form von elementspezifischer Röntgenstrahlung emittiert. Die Intensität und Energiemenge der detektierten charakteristischen Röntgenstrahlung ist abhängig von der Art und der Konzentration des Elementes.

3.2.2.2 Bestimmung der Mineralzusammensetzung mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie (RDA)

Bei der Röntgendiffraktometrie wird die Mineralzusammensetzung der Proben anhand der Kristallstrukturen von Mineralen bestimmt. Die ausgesendeten parallelisierten Röntgenstrahlen treffen auf die Kristalloberflächen und werden nach der BRAGGSchen Gleichung ($\lambda = 2d \cdot \sin\theta$) gebeugt. Nach der BRAGGSchen Gleichung findet Röntgenbeugung statt, wenn eine Kristallgitterebene mit dem Gitterabstand d eines Minerals bei der Wellenlänge λ oder einem ganzzahligen Vielfachen von λ im Winkel von 2θ zum Röntgenstrahl liegt. Dabei ist der Winkel abhängig vom Mineral, so dass für jedes Mineral die Röntgenstrahlung bei bestimmten Winkel gebrochen wird. Der charakteristische Winkel des jeweiligen Minerals wird genutzt, um die Mineralzusammensetzung der Probe zu bestimmen. Beim Bruker AXS D8 Advance werden die Proben mit Röntgenstrahlung einer Kupferröhre im 2θ -Bereich von 5° bis 60° schrittweise in $0,02^\circ$ Abständen abgetastet.

3.3 Fehlerbetrachtung

3.3.1 Fehlerquellen bei der Probenahme von Bodenluft

Durch eine zu geringe Entnahmetiefe der Probe wird die Bodenluft im mit Atmosphärenluft durchmischten Bereich entnommen und es wird keine reine Bodenluftprobe, sondern eine Mischprobe aus atmosphärischer Luft und Bodenluft gewonnen. Wird der Aufsatz nicht dicht auf den Sondenkopf aufgesetzt, kann durch diese Undichtigkeit bei der Probenahme atmosphärische Luft in die Probe gelangen. Ein defektes Septum hat den gleichen Effekt. Bei schadhafte Sonden kann Atmosphärenluft durch Risse in die Sonden eindringen. Alle genannten Faktoren führen dazu, dass die He -Konzentration durch das Eindringen der atmosphärischen Luft verringert wird und eine Analyse der so beeinflussten Proben zu verfälschten Ergebnissen führt. Geringe Mengen von angesaugtem Boden- oder Sickerwasser im Gasfrosch können die He -Konzentration herabsetzen, da He in Lösung gehen kann.

Wenn ein solcher Fehler erkannt wurde, wurde die Probe verworfen und eine weitere Probenahme in unmittelbarer Nähe durchgeführt. Eine zu geringe Entnahmetiefe konnte an vereinzelt Probenahmestellen nicht vermieden werden, da an einigen Stellen die Mächtigkeit der Lockersedimente weniger als einen Meter beträgt. An anderen Lokationen war es aufgrund von Geröllen im Sediment nicht möglich, die Sonde ohne Schäden in einen Meter Tiefe zu bringen.

3.3.2 Fehlerquellen bei der Analyse der Bodenluft

3.3.2.1 Durch den Geräteaufbau bedingte Fehler

Die Eingabe stark unterschiedlicher Volumina von Proben in den Vorratsraum während einer Messprozedur führt dazu, dass die Anzeigewerte untereinander nicht mehr vergleichbar sind.

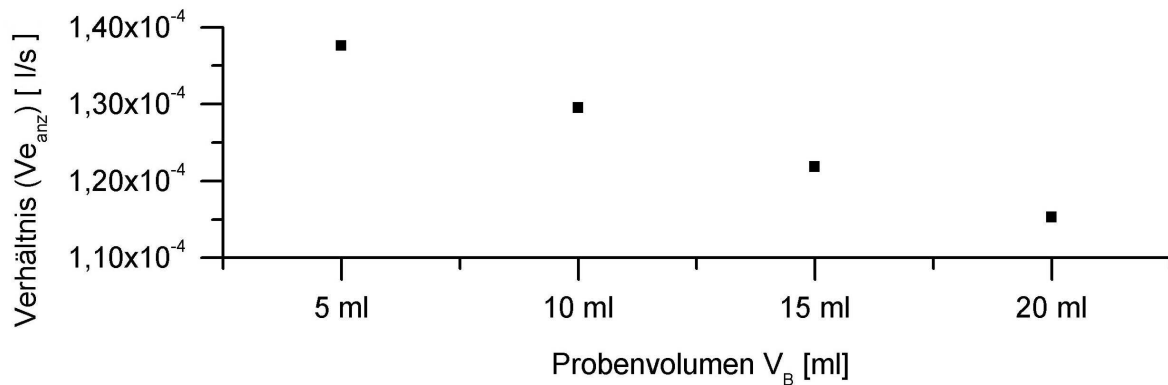
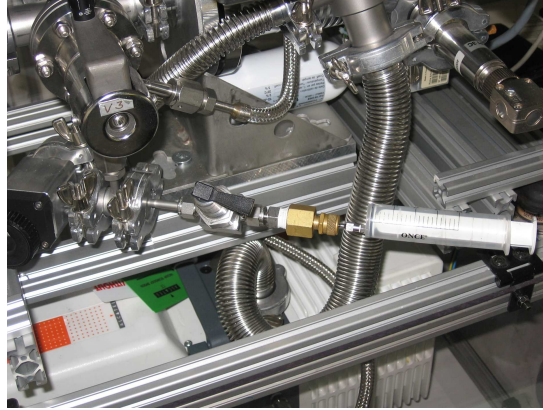


Abbildung 3.11: Abhängigkeit des Verhältnisses $V_{e_{anz}}$ vom eingegebenen Probenvolumen V_B .

Die Messungenauigkeit des Probenvolumens (das Volumen der Spritze ist nicht genau abzulesen) führt dazu, dass die Anzeigewerte bei gleichen Konzentrationen nicht gleich sind. Bei kleineren Volumen steigen die Verhältnisse $V_{e_{anz}}$ an und bei größeren Volumen sinken sie. Wie Abbildung 3.11 zeigt, handelt es sich hierbei ungefähr um eine lineare Abhängigkeit. Wenn beispielsweise nur $19,5 \text{ ml}$ (statt 20 ml) atmosphärische Probenluft eingegeben wird, beträgt die Abweichung der gemessenen He -Konzentration etwa $20,05 \text{ ppb}$.

Um die Messwerte vergleichen zu können, muss die Leckrate von He konstant gehalten werden. Dies wird durch das einheitliche Probenvolumen von 20 ml und konstante UVC -Werte gewährleistet.

Weiterhin besteht die Möglichkeit der Kontamination der Probe bei der Überführung aus dem Gasfrosch in den Probenvorratsraum. Dadurch kann sich die He -Konzentration ändern und die Analysedaten sind nicht mehr aussagekräftig. Durch die Kontamination der Probe mit Atmosphärenluft bei der Eingabe der Bodenluftprobe ins Analysegerät ist die gemessene He -Konzentration c_P der Probe im Probenvorratsraum im Vergleich zur Konzentration c_B der Bodenluftprobe verringert. Im Bereich zwischen Kippschalter und Einspritzöffnung des Probeneinlassraums gelangt bei der Eingabe der Probe Atmosphärenluft mit in den Probenvorratsraum (vgl. Abbildung 3.12). Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass das gesamte Volumen V_T mit in den Probenvorratsraum gelangt und somit die He -Konzentration der Bodenluftprobe herabsetzt. Somit müssen die gemessenen Werte korrigiert werden.



V_T entspricht dem Volumen zwischen Kippschalter und Septum im Messingaufsatz.

Abbildung 3.12: Probeneinlass des Messgerätes.

Aus der Gleichung

$$c_P = \frac{c_B \cdot V_B + c_T \cdot V_T}{V_B + V_T} \quad \Leftrightarrow \quad c_B = \frac{c_P \cdot (V_B + V_T) - (c_T \cdot V_T)}{V_B} \quad (3.10)$$

lässt sich mit der *He*-Konzentration c_P im Probenvorratsraum die *He*-Konzentration c_B der Bodenluftprobe berechnen, wobei c_T der *He*-Konzentration der Atmosphäre entspricht, V_T das Totvolumen und V_B das Volumen der eingegebenen Bodenluftprobe ist.

Aus Gleichung (3.10) ergibt sich für ein Totvolumen von 1,3 *ml* und einer Bodenluftprobe von 20 *ml* eine *He*-Konzentration in der Bodenluft von

$$c_B = \frac{(6225 \cdot 21,3) - (5220 \cdot 1,3)}{20} = \left[\frac{ppb \cdot ml}{ml} \right] = 6290 \text{ } ppb. \quad (3.11)$$

Der Fehler der *He*-Konzentration c_B der Bodenluftprobe gegenüber der Konzentration c_P im Probenvorratsraum (Messwert) lässt sich mit der Gleichung

$$\begin{aligned} \text{Fehler [in\%]} &= \frac{c_B - c_P}{c_P} \cdot 100 \\ &= \frac{6290 - 6225}{6225} \cdot 100 \approx 1,04\% \end{aligned} \quad (3.12)$$

bestimmen.

Wenn die *He*-Konzentration in der Probe gleich der Atmosphärenkonzentration ist, gilt $c_P = c_B$ (vgl. Tabelle 3.6). Aus Tabelle 3.6 ist ersichtlich, dass der Fehler bei Werten um 7000 *ppb He* in der Bodenluft etwa 1,65 % beträgt. Wird die Gleichung (3.10) in die Gleichung (3.12) eingesetzt,

Tabelle 3.6: Fehler für verschiedene Heliumkonzentrationen c_P im Probenvorratsraum.

c_P	c_B	$c_B - c_P$	Fehler [%]
5220 <i>ppb</i>	5220 <i>ppb</i>	0 <i>ppb</i>	0
5500 <i>ppb</i>	5518,2 <i>ppb</i>	18,2 <i>ppb</i>	0,33
6000 <i>ppb</i>	6050,7 <i>ppb</i>	50,7 <i>ppb</i>	0,845
7000 <i>ppb</i>	7115,7 <i>ppb</i>	115,7 <i>ppb</i>	1,65
10000 <i>ppb</i>	10310,7 <i>ppb</i>	310,7 <i>ppb</i>	3,11
20000 <i>ppb</i>	20960,7 <i>ppb</i>	960,7 <i>ppb</i>	4,8035
50000 <i>ppb</i>	52910,7 <i>ppb</i>	910,7 <i>ppb</i>	5,8214
1000000 <i>ppb</i>	1064660,7 <i>ppb</i>	64660,7 <i>ppb</i>	6,46607

so ergibt sich für den Fehler

$$\begin{aligned}
 \text{Fehler [in\%]} &= \frac{\frac{c_P \cdot (V_B + V_T) - (c_T \cdot V_T)}{V_B} - c_P}{c_P} \cdot 100 \\
 &= \left(\frac{V_T}{V_B} - \frac{c_T \cdot V_T}{V_B \cdot c_P} \right) \cdot 100.
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

Nach dieser Gleichung können die Messwerte korrigiert werden. Mit wachsendem c_P folgt für den Fehler (vgl. Abbildung 3.13):

$$\lim_{c_P \rightarrow \infty} \left(\frac{V_T}{V_B} - \frac{c_T \cdot V_T}{V_B \cdot c_P} \right) \cdot 100 = \left(\frac{V_T}{V_B} - 0 \right) \cdot 100 = \frac{1,3}{20} \cdot 100 \left[\frac{ml}{ml} \right] = 6,5 \tag{3.14}$$

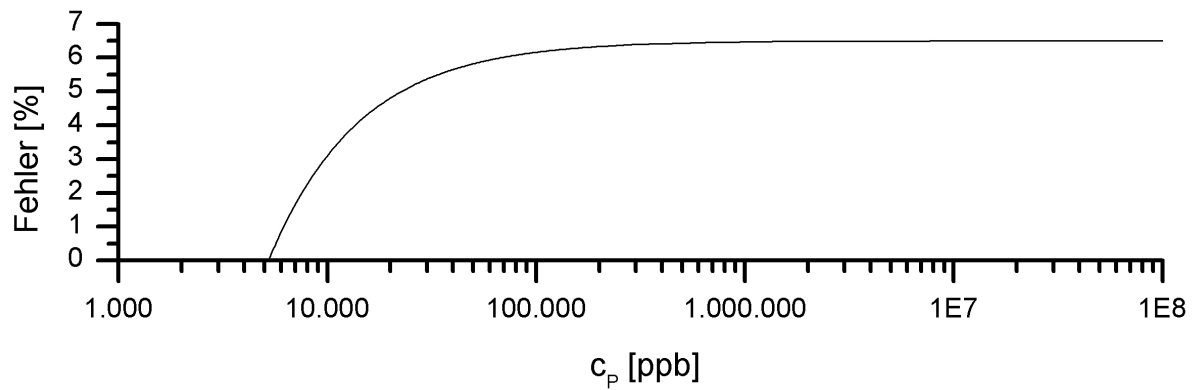


Abbildung 3.13: Fehlerdiagramm: Der Fehler gibt die Abweichung der Heliumkonzentration c_B der Bodenluftprobe gegenüber der Heliumkonzentration c_P im Probenvorratsraum an.

3.3.2.2 Durch den Bediener hervorgerufene Fehler

Da die Anzeigewerte des Messgerätes auch von der Dauer und Art der Injektion des Probengases in den Probenvorratsraum abhängen, kann ein vom Bediener abhängiger Fehler auftreten. Denn schon die Injektionsdauer und der Injektionsdruck variieren von Bediener zu Bediener. Bei Vergleichsmessungen konnte Folgendes beobachtet werden:

Bei der Messung durch Bediener 1 betrug das Verhältnis für Atmosphärenluft:

$$V_{e_{Bed1}} = 3,59 \cdot 10^{-05} \left[\frac{l}{s} \right]$$

Bei Bediener 2 hat sich folgendes Verhältnis für Atmosphärenluft eingestellt:

$$V_{e_{Bed2}} = 3,33 \cdot 10^{-05} \left[\frac{l}{s} \right]$$

Die Abweichung der *He*-Konzentration von Bediener 1 zu Bediener 2 entspricht 383 *ppb* oder 7,34 %. Aus diesem Grund muss jede Einzelmessungsprozedur von demselben Bediener durchgeführt werden. Für die Zukunft ist vorgesehen, diesen Fehler durch eine Weiterentwicklung des Probeneinlasssystems zu minimieren.

3.3.3 Fehler bei der Probenaufbereitung und der Herstellung von Presstabletten

Beim Wiegen der Probe und des Probenmaterials muss eine Waagengenauigkeit ($\pm 0,1 \text{ mg}$) berücksichtigt werden, wobei der Fehler bei der Einwaage der Probe 0,005 % und bei der Einwaage des Wachses 0,01 % beträgt.

Eine unvollständige Homogenisierung der Probe beim Durchmischen im Mörser kann zu falschen Ergebnissen führen, da bei der Auswertung das Verhältnis Wachs zu Probe berücksichtigt wird. Dieses Verhältnis ist jedoch nur bei einer gut homogenisierten Probe überall gleich. Auch Entmischungsvorgänge beim Pressen der Tabletten, bei denen das Wachs und die Probe sich trennen, führen dazu, dass das Verhältnis von Wachs und Probe nicht über die gesamte Presstablette konstant ist.

4 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse zunächst nach Untersuchungsgebieten getrennt voneinander dargestellt. Im Anschluss daran folgen Ergebnisse, die sich auf die Probenahme und den Messablauf sowie den Messgeräteaufbau beziehen.

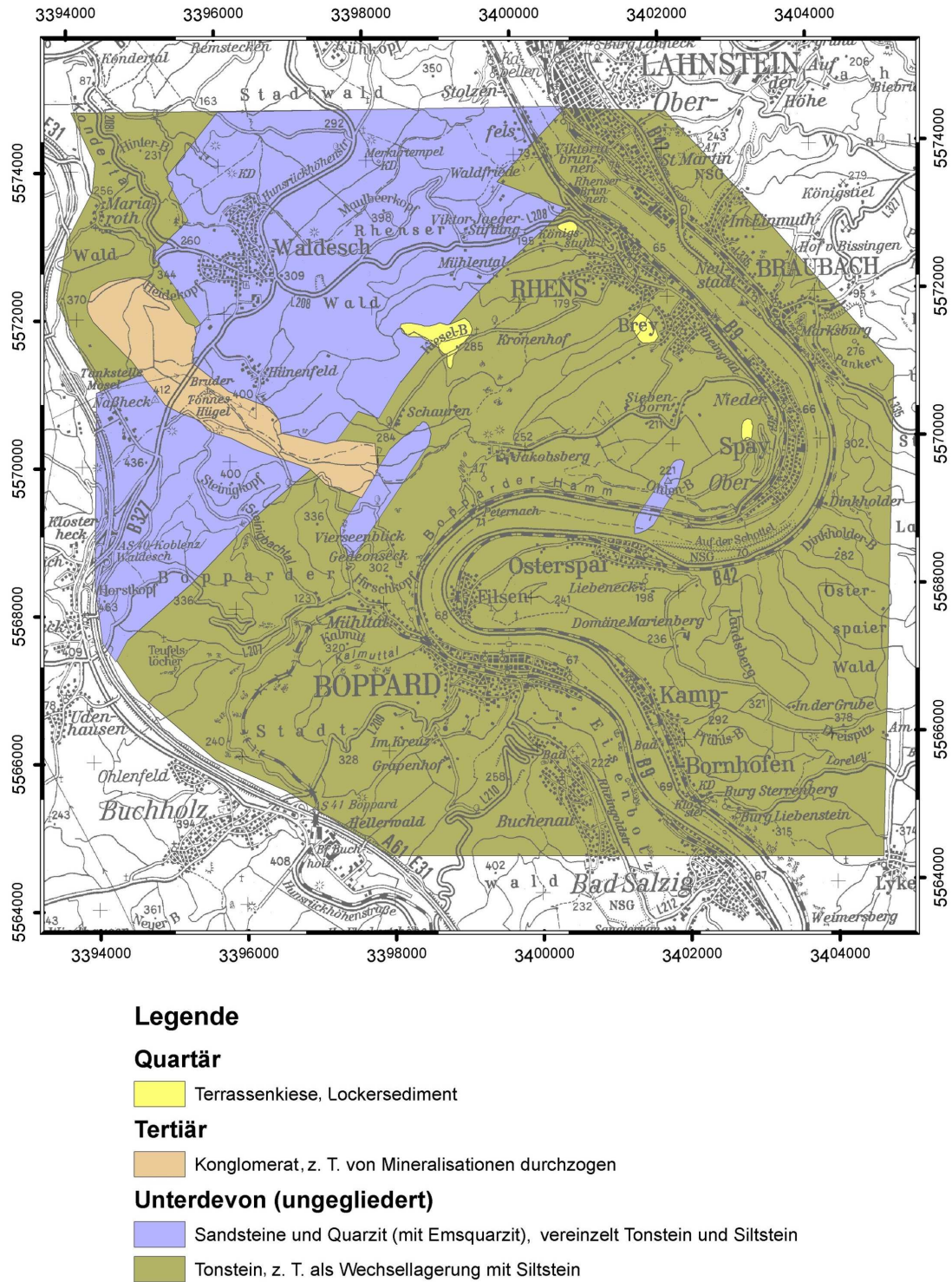
4.1 Raum Koblenz

4.1.1 Schichtenfolge

Anhand der 339 untersuchten Festgesteinsaufschlüsse und 171 Lesesteinfunde konnten die von SOLLE (1937a, 1937b, 1942a, 1942b und 1942c; 1972) und BUDEUS (1988) beschriebenen Gesteinseinheiten bestätigt werden. Auf der geologischen Karte sind die unterdevonischen Sedimente nach der vereinfachten stratigrafischen Tabelle (vgl. Tabelle 4.1) eingeteilt. Die Oberemsschichten werden dabei in Tonstein (Oberems ungegliedert) und Emsquarzit (Sandsteine und Quarzit) unterteilt. Die Unteremsschichten werden wegen des lithologischen Aufbaus auf der geologischen Karte ebenfalls in der Einheit der Sandsteine und Quarzit geführt (vgl. Abbildung 4.1).

Tabelle 4.1: Vereinfachte stratigrafische Gliederung des UG Raum Koblenz.

		Gesteine	Einheit der geologischen Karte
Unterdevon	Oberems	Tonstein z. T. Wechselagerung mit Siltstein	Tonstein
		Emsquarzit	Sandsteine und Quarzit
	Unterems	Ton-/Sandstein Wechselagerung	



Geobasisinformationen (TK 25) © Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz.

Abbildung 4.1: Geologische Übersichtskarte des UG Raum Koblenz.

Unterems:

Die Gesteinseinheiten des Unterems treten nur in einer schmalen Zone auf, die von Waldesch in NE-Richtung nach Oberlahnstein zieht. Bei dieser Einheit handelt es sich um eine Wechsellagerung von siltigem Tonstein und Sandstein. In dieser Wechsellagerung können Bänke von quarzitischem Sandstein auftreten. Bei den Tonsteinen handelt es sich um hellgraue, meist glimmerfreie Tonsteine, die meist in Wechsellagerung mit Siltstein auftreten (Aufschluss *Bo282*: $r^{33}97613$, $h^{55}71993$). Die Sandsteine und quarzitischen Sandsteine sind meist grau gefärbt, oft stark glimmerführend und stark verfestigt (Aufschluss *Bo125*: $r^{33}94558$, $h^{55}68117$). Die quarzitischen Sandsteine weisen eine zuckerkörnige Struktur auf. Diese Sedimente werden in der geologischen Karte in der Einheit Sandsteine und Quarzit geführt.

Oberems:

Oberems tritt in weiten Teilen in siltig-toniger Ausprägung auf (Tonstein). Doch die markanteste Einheit stellt der Emsquarzit (Sandsteine und Quarzit) dar.

Emsquarzit:

Der Emsquarzit stellt die Basis des Oberems dar (vgl. Kapitel 2.1.2.4 und Tabelle 2.2 auf S. 28). Er zeichnet sich durch meist bankige helle bis weißliche Sandsteine und quarzitisiche Sandsteine aus. Glimmer tritt im Gegensatz zu den Unteremsgesteinen stark zurück. Auch Fossilien fehlen im Emsquarzit. Die quarzitischen Sandsteine sind sehr hart und weisen eine zuckerkörnige Struktur auf. Auffallend ist die z. B. im Bereich des Horstkopfes (Aufschluss *Bo117*: $r^{33}94179$, $h^{55}68166$) und im Steinbruch östlich von Waldesch (Aufschluss *Bo280*: $r^{33}97319$, $h^{55}72381$) auftretende Variation des Emsquarzits als weißer quarzitischer Sandstein, der zu wenig verfestigtem Sandstein verwittert. Die Analysedaten von Probe 445 (vgl. Anhang A.4) weisen darauf hin, dass dieses intensive Verwittern durch den Tonmineralanteil im Gestein hervorgerufen wird.

Oberems ungegliedert ohne Emsquarzit:

Im Hangenden des Emsquarzit tritt eine Einheit auf, die durch die Wechsellagerung von Silt- und Tonstein mit eingeschalteten Sandsteinlagen geprägt ist. Dabei wird der Sand- und Siltsteinanteil nach SE hin immer geringer und es tritt Tonstein in den Vordergrund. Beim Tonstein des Oberems handelt es sich um einen dunkelgrauen bis grauen Tonstein mit vereinzelt Schilllagen (Aufschluss *Bo293*: $r^{33}97469$, $h^{55}68897$). Im Bereich der schillführenden Lagen treten glimmerführende Siltsteine auf.

Eine Einheit des Oberems lässt sich durch das Auftreten von Kieselgallen gut erkennen. Bei den Kieselgallenschiefern handelt es sich um grauen, fein laminierten Tonstein, der selten einen geringen Siltanteil aufweist. Er ist meist stark geschiefert und weist zahlreiche Kieselgallen auf (vgl. Abbildung 4.2). In dieser Einheit treten vereinzelt Fossilanreicherungen auf (Brachiopoden) (Aufschluss *Bo289*: $r^{33}97870$, $h^{55}68306$). Die Kieselgallen sind rundlich und haben einen Durchmesser

von bis zu 5 cm. Einige Konkretionen sind schieferungsparallel gestreckt. Dies ist auf Stoffumlagerung bei der Schieferung zurückzuführen (HAAS 1997). Bei den Kieselgallen handelt es sich um SiO_2 -Konkretionen, die im Untersuchungsgebiet synsedimentär entstanden sind (SOLLE 1937b). Bei den Kartierungsarbeiten wurde diese Einheit gehäuft im Bereich von Boppard angetroffen. Aus der geologischen Übersichtskarte (vgl. Abbildung 4.1, S. 68) wird ersichtlich, dass der Ems-



Aufschluss: Bo290 $r^{33}97653$, $h^{55}68417$

Abbildung 4.2: Typische Ausprägung von Kieselgallenschiefer in der Nähe des Vierseenblicks nördlich von Boppard.

quarzit nur im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes auftritt. In diesem Gebiet wurden auch siltführende Tonsteine und vereinzelt siltige Sandsteine nachgewiesen. Mit dem Ausbleiben des Emsquarzits in südöstlicher Richtung treten überwiegend reine Tonsteine mit vereinzelt Siltlagen auf.

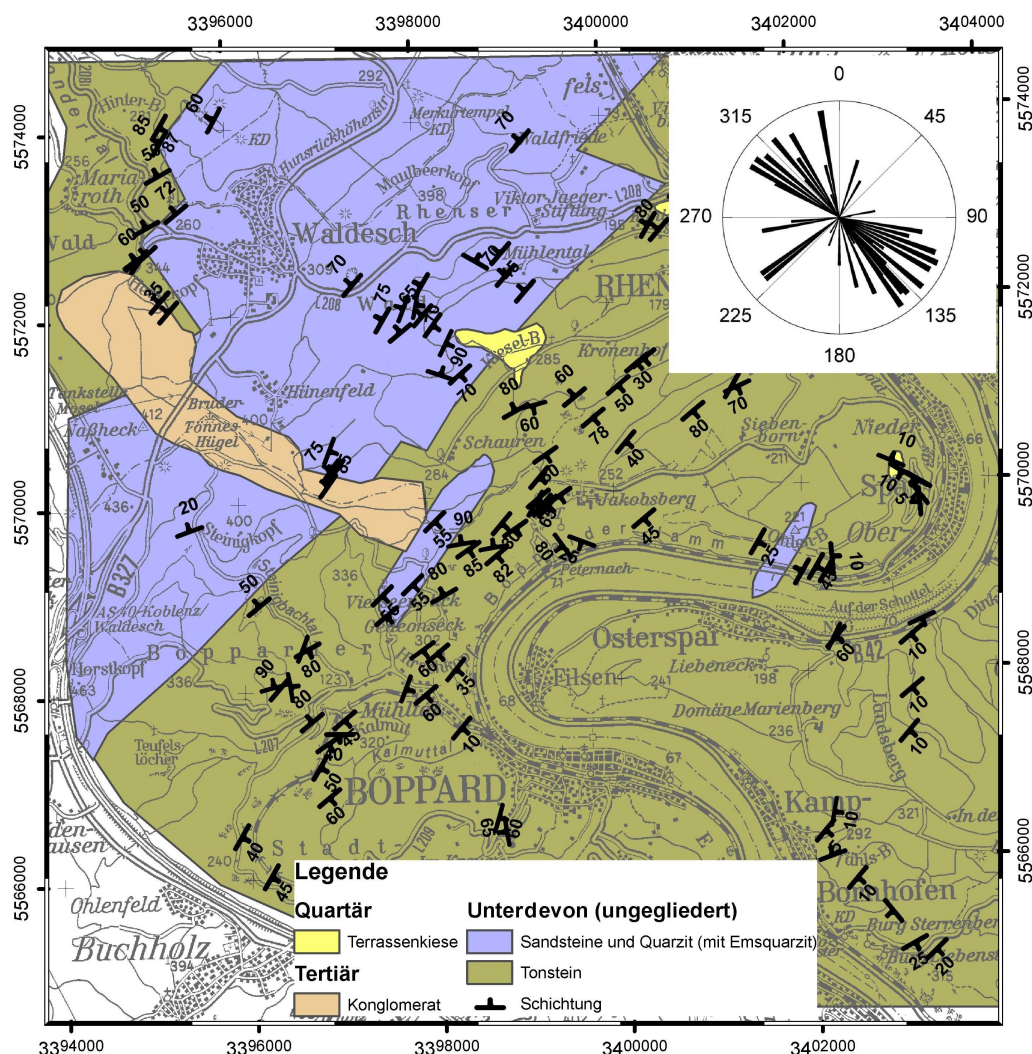
Tertiär und Quartär:

Westlich bis südwestlich von Waldesch treten in einem NW-SE verlaufenden Streifen Konglomerate auf, die zum Teil durch Fe -Mineralisationen (Probe 381) verfestigt wurden. Es handelt sich hierbei um Reste der tertiären Verwitterungsdecke. Die Gesteine des Devons werden in einigen Teilen des Untersuchungsgebietes von quartären Terrassensedimenten des Rheins überlagert. Bei den Terrassensedimenten handelt es sich um Lockersedimente. Diese Terrassenschotter werden durch Kiese aufgebaut, in denen sich die Gesteine des Untersuchungsgebietes als gerundete Ge-

röle wiederfinden. In wenigen Bereichen sind die Terrassensedimente sekundär durch Mineralausfällungen verfestigt (z. B. nördlich von Schauraen). An wenigen Stellen wurden Lössablagerungen gefunden (Aufschluss Bo301: $r^{34}01604$, $h^{55}71449$). Im Bereich des Phillipsberges sind nach mdl. Mitt. von KAUL (2005) an wenigen Stellen geringmächtige Tuffablagerungen zu finden.

4.1.2 Lagerungsverhältnisse der Schichten

Das Streichen der Schichten liegt meist im Bereich von 30° bis 50° (vgl. Abbildung 4.3) und entspricht somit dem variscischen Streichen des Rheinischen Schiefergebirges. Das Einfallen der nach NW einfallenden Schichten liegt meist zwischen 70° und 85° .



Geobasisinformationen (TK 25) © Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz.

Abbildung 4.3: Variation der Lagerungsverhältnisse im UG Raum Koblenz.

Die Schichten der in SE-Richtung einfallenden Gesteinseinheiten weisen eine größere Variation des Einfallens auf (20° bis 85°) (vgl. Abbildung 4.3, Raumdatendiagramm oben rechts). Vereinzelt wurden auch Schichtlagerungen aufgenommen, die von der variscischen Richtung abweichen. Die Abweichungen treten in Aufschlüssen auf, die Spezialfalten aufweisen oder stark gestört sind. Nach BUDEUS (1988) weisen die Schichten im Raum Waldesch überkippte Lagerung auf. Dies konnte im Untersuchungsgebiet nicht eindeutig bestätigt werden. Das Variieren der Lagerungsverhältnisse der Schichten über das gesamte Untersuchungsgebiet ist auf die Faltung und den nach der Faltung angelegten Schuppenbau zurückzuführen (KRÖLL 2001), wodurch die ehemals horizontal abgelagerten Schichten verstellt und aus der variscischen Richtung rotiert wurden. Dies ist südlich von Boppard und bei Oberspay deutlich zu erkennen (vgl. Abbildung 4.3).

Auch die Lagerung der Klüfte variiert entsprechend der Lagerungsverhältnisse der Gesteinsschichten, wobei die Klüfte in sandigen und siltigen Sedimenten in etwa senkrecht und in feinkörnigeren Sedimenten winklig zur Schichtung verläuft. In Tonsteinen und geschieferten Tonsteinen ist oft keine Klüftung zu erkennen (vgl. Abbildung 4.4). Dieses Phänomen wird durch die Kompetenzunterschiede der Gesteine hervorgerufen.

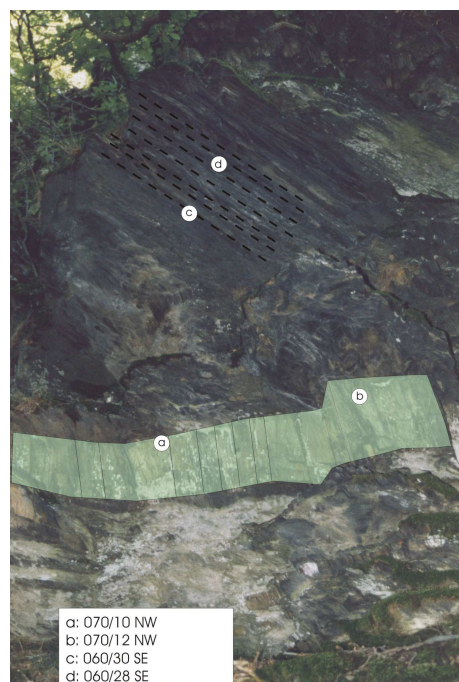
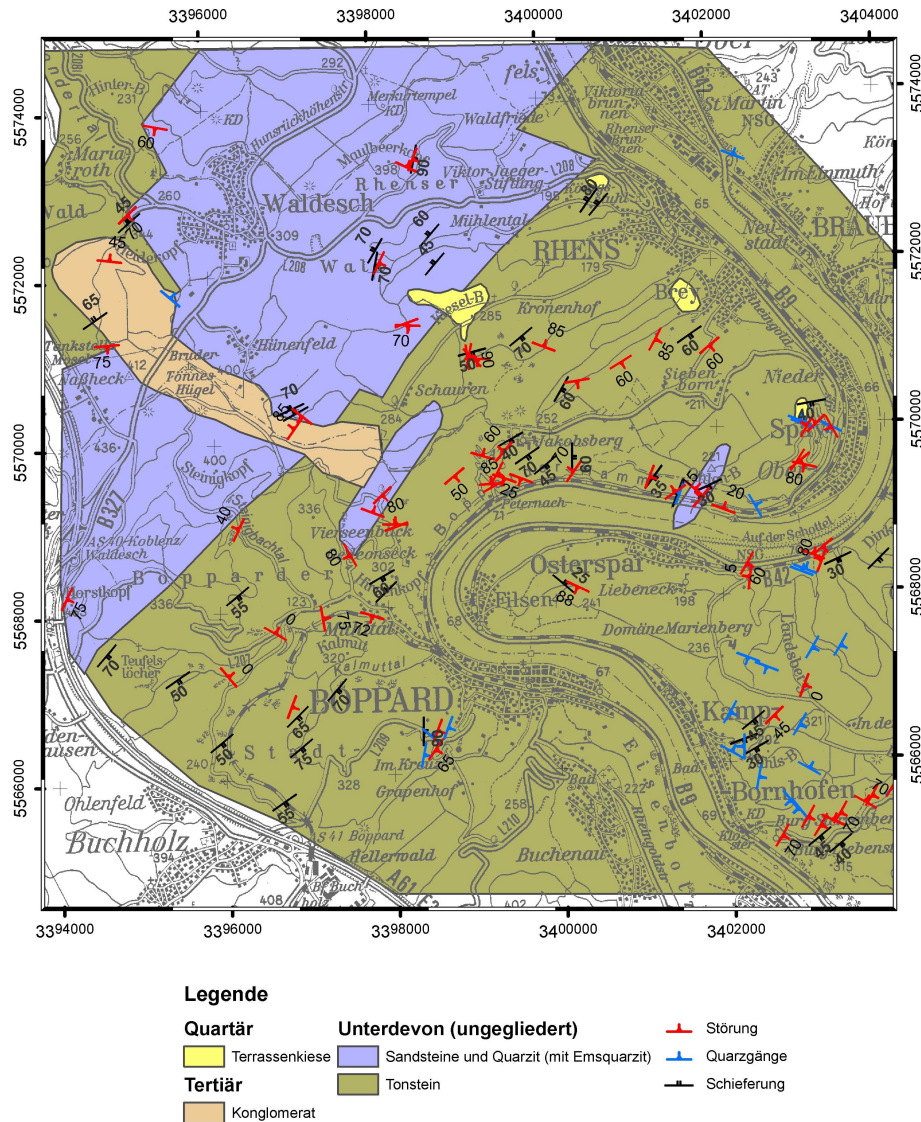


Abbildung 4.4: Schichtung und Schieferung in einem Tonsteinaufschluss mit eingelagerter Siltsteinbank.

4.1.3 Tektonische Elemente

Bei den im UG Raum Koblenz aufgenommenen tektonischen Elementen handelt es sich um Bruch- und Bewegungszonen (z. B. Fiederspalt und Störungszonen) sowie Schieferungsflächen (vgl. Abbildung 4.5).



Geobasisinformationen (TK 25) © Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz.

Abbildung 4.5: Schieferungsflächen, Quarzgänge und aufgeschlossene Störungen im UG Raum Koblenz.

Die Hauptaufmerksamkeit während der geologischen Geländeaufnahme war auf das Auftreten von Mineralisationen und Vererzungen gerichtet, da diese Hinweise auf rezent aktive Störungszonen

liefern können.

4.1.3.1 Schieferung und Faltenachsenflächen

Der Verlauf der Schieferungsflächen liegt meist mit 30° bis 45° im variscischen Streichen (vgl. Abbildung 4.6). Die vereinzelt angetroffenen, im Vergleich zur variscischen Streichrichtung abgelenkten Schieferungsflächen spiegeln nach BUDEUS (1988) kleinräumige stärkere Ablenkungen des variscischen Spannungsfeldes wider.

Durch junge Blattverschiebungen und den dadurch hervorgerufenen Blockrotationen kann es ebenfalls zur Verstellung der Schicht- und Schieferungsflächen aus der variscischen Richtung kommen (SCHREIBER & ROTSCH 1998).

Das Einfallen der Schieferungsflächen im UG Raum Koblenz ist meist steil, variiert jedoch

aufgrund der Meiler- bzw. Fächerstellung der Schieferungsflächen etwas. Durch den nach der Faltung angelegten Schuppenbau (BUDEUS 1988) wurden in einigen Bereichen die Schichtpakete verstellt. Dies führte ebenfalls dazu, dass in Bereichen von Überschiebungszonen das Streichen der Schieferungsflächen von der variscischen Richtung abweicht. Dies ist analog zur Schichtlagerung im Bereich südlich von Boppard und bei Oberspay zu beobachten (vgl. Abbildung 4.5).

Faltenachsenflächen konnten nur in wenigen Aufschlüssen aufgenommen werden. Die Streichrichtung der aufgenommenen Faltenachsen ist mit Streichrichtungen von 20° bis 40° variscisch geprägt (Aufschluss Bo035: $r^{34}03228$, $h^{55}64905$ und Bo141: $r^{33}98666$, $h^{55}66486$). Im Aufschluss Bo141 fällt die Faltenachsenfläche mit 60° nach SE ein, was dem generellen nicht überkippten NW vergentem Faltenbau entspricht (vgl. Kapitel 2.1.2.3).

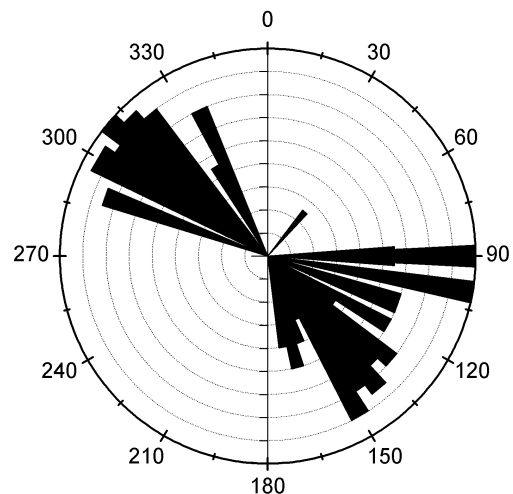


Abbildung 4.6: Raumdaten der Schieferungsflächen im UG Raum Koblenz.

4.1.3.2 Gangmineralisationen und Vererzungen

An Gangmineralisationen wurden reine Quarzgänge und Quarzgänge mit Vererzungen (z. B. Fe-Vererzungen am Horstkopf) unterschieden (vgl. Abbildung 4.7). Des Weiteren wurden linksrheinisch im Bereich der Teufelslöcher, des Maulbeerkopfes und im Bereich der Silberquelle sowie rechtsrheinisch im Bereich nördlich von Kamp-Bornhofen Erzpingen gefunden. Im Bereich des Maulbeerkopfes und im Bereich von Nonnenheck konnten im Bereich der Pingen Lesesteine mit Erzmineralisationen gefunden werden (Probe 001 und Probe 505, vgl. Abbildung 4.10, S. 78). Bei



Quarzgänge, schwarze *Fe*-Mineralisationen und Kappenquarz z. T. mit *Fe*-Mineralen überzogen.

Abbildung 4.7: Variationen der Quarzmineralisationen im UG Raum Koblenz.

der Probe 505 aus dem Gebiet des Maulbeerkopfes handelt sich um ein Erz, das aus Goethit und Quarz besteht. Auch die Probe 001 aus dem Bereich Nonnenheck weist Goethitmineralisationen auf (Anhang A.4).

Daneben gibt es weitere Hinweise auf Vererzungen im Untersuchungsgebiet. Sowohl linksrheinisch als auch rechtsrheinisch wurden Stollenmundlöcher gefunden. Im linksrheinischen Bereich konnten östlich von Hünenfeld im Bereich des Lender- und Mühlenbachs mehrere offene Stollen gefunden werden. Nördlich von Peterspay soll sich ein weiterer ehemaliger Stollen befinden (mdl. Mitt. KAUL 2005). Bei den heute noch zugänglichen Stollen im Bachanschnitt des Mühlenbachs handelt es sich vermutlich um Entwässerungsstollen ehemaliger Erzgruben. Im rechtsrheinischen Bereich wurden offene Stollen im Dinkholdertal gefunden. Zumindest bei einem der drei gefundenen Stollen handelt es sich um einen Entwässerungsstollen. Auch Flurbezeichnungen wie z. B. Eisenberg weisen im linksrheinischen Gebiet auf erzbergbauliche Tätigkeiten hin.

Die Gangmineralisationen treten schichtgebunden, parallel zur Schieferung oder völlig unabhängig von Schichtung und Schieferung auf. Dabei unterscheidet sich die Gruppe der schicht- und schieferungsparallelen Gangmineralisationen in ihrer Ausbildung von der zweiten Gruppe. Der Quarz ist oft weiß bis gelblich, dicht und ohne Hohlräume. Die Gänge wurden zum Teil von der variscischen Faltung erfasst und verformt. Die Gangmineralisationen können in Fiederspalten auftreten, Klüfte ausfüllen oder als Gänge das Gestein durchsetzen (vgl. Abbildung 4.8). Die gangförmigen Quarzmineralisationen reichen von wenigen millimetermächtigen, nicht lang durchhaltenden Gängen bis hin zu vereinzelt auch metermächtigen, im Gelände über mehrere zehner, vereinzelt auch hunderte Meter durchhaltende Gangstrukturen.

Die Gangmineralisationen der zweiten Gruppe, die weder schicht- noch schieferungsgebunden sind, zeichnen sich durch das häufige Auftreten von idiomorphen Quarzkristallen aus. Der Quarz



Abbildung 4.8: Quarzmineralisationen: a) in Fiederspalt, b) auf Klüften und c) eines verformten schichtparallelen Quarzganges.

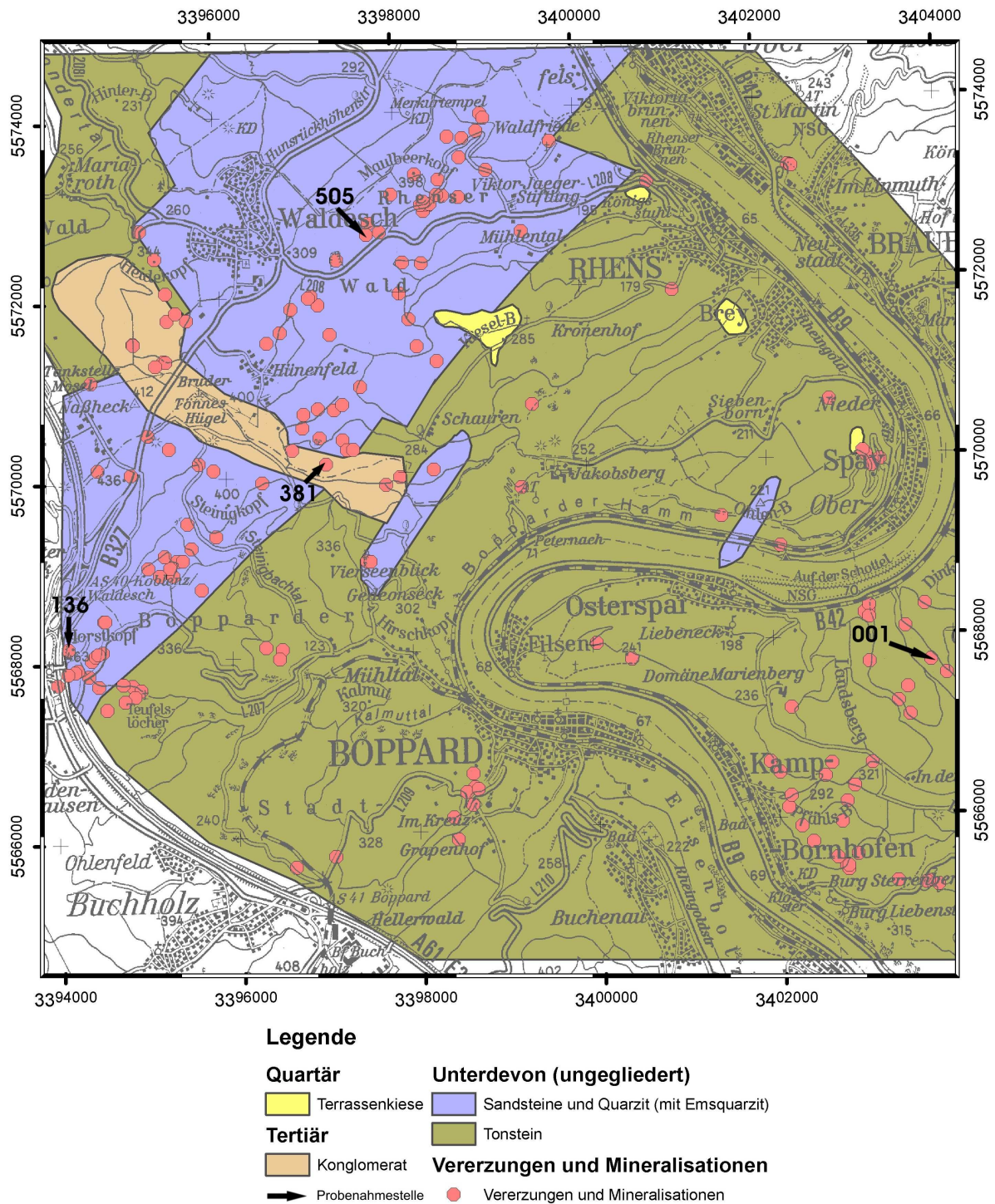
ist meist weißlich durchscheinend und weist viele Hohlräume auf. Es treten häufig Quarzrasen mit *Fe*-haltigen Kappenquarzen auf, deren Oberflächen z. T. mit *Fe*-Mineralen überzogen sind (vgl. Abbildung 4.7). Die Gesteine in der Umgebung dieser Gangmineralisationen weisen oft *Fe*-Beläge auf oder sind mit *Fe*-Mineralisationen imprägniert (vgl. Abbildung 4.9).

Im Bereich des Horstkopfes ist eine Quarzgangmineralisation aufgeschlossen. Dort füllte der Quarz eine offene Spalte aus. Dass der Quarz Platz zum Auskristallisieren hatte, zeigt sich an der Ausbildung des Quarzes als Kappenquarz (vgl. Abbildung 4.7) und Faserquarz (vgl. Abbildung 4.9). Der *Fe*-haltige Quarz ist von schwarzen, zum Teil glaskopfförmig ausgebildeten *Fe*-Mineralisationen überzogen und das sandige Nebengestein ist im Bereich des Ganges mit *Fe*-Mineralen imprägniert. Untersuchungen der Mineralisationen von Probe 136 zeigen, dass die Schwarzfärbung von Goethit stammt (Anhang A.4). Solche *Fe*-imprägnierten Gesteine sind häufig als Lesesteine in der Umgebung der Pinggen zu finden und somit ein deutliches Indiz für das Vorhandensein einer abgebauten Gangmineralisation. Diese Gangmineralisationen treten als zentimeter- bis metermächtige Gangformationen auf, die im Gelände meist über mehrere zehner bis hunderte Meter verfolgt werden können, wobei sie in zwei Hauptrichtungen auftreten. Eine Vielzahl der Gänge verläuft in NE-SW Richtung (Streichen von etwa 30° bis 40°) und ein weiterer großer Teil in WNW-ESE Richtung (Streichen etwa 105° bis 110°). Vereinzelt sind NW-SE verlaufende Quarzgänge mit einem Streichen von etwa 160° zu finden. Nordöstlich von Naßheck und südöstlich von Hünenfeld treten in den Konglomeraten flächig *Fe-Mn*-Vererzungen auf (Probe 381).



Abbildung 4.9: Mit Eisenmineralisationen imprägnierter quarzitischer Sandstein im Bereich des Horstkopfes (links) und Faserquarz der Gangmineralisationen im Bereich des Horstkopfes (rechts).

Gangmineralisationen und Vererzungen treten im gesamten Untersuchungsgebiet auf (vgl. Abbildung 4.10). Doch mit dem lithologischen Wechsel von Emsquarzit zu Tonstein geht die Mächtigkeit und die Häufigkeit der gangförmigen Quarzmineralisationen zurück. Erst im rechtsrheinischen Bereich des Untersuchungsgebietes treten wieder gehäuft Gangquarzmineralisationen auf, die sehr gut einzumessen sind.



Geobasisinformationen (TK 25) © Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz.

Abbildung 4.10: Auftreten von Verzungen und gut ausgeprägten Quarzmineralisationen.

4.1.3.3 Bewegungsbahnen

Da Bewegungsbahnen oft von Quarzmineralisationen begleitet werden, können Quarzmineralisationen zur Identifizierung von Störungszonen herangezogen werden. In den Bereichen, in denen das Auftreten der Gangquarze als Begleiterscheinung der Bewegungsbahnen zurücktritt, können Bewegungszonen oft an stark zerkleinerten Nebengestein sowie an Schicht- und Schieferungsumbiegen erkannt werden. Solchen Bewegungszonen weisen Mächtigkeiten von wenigen Millimetern bis hin zu mehreren Dezimetern auf. Genau wie die Quarzgänge können auch die Bewegungszonen in zwei Gruppen eingeteilt werden.

Variscische Bewegungsbahnen

Die Störungen der ersten Gruppe wurden während der Faltung sowie im Rahmen der später einsetzenden Schuppenbildung angelegt. Sie weisen überwiegend variscisches Streichen zwischen 30° und 50° auf. Das Einfallen variiert von 20° bis 60° , vereinzelt auch bis zu 70° . Die Variationen im Einfallen sind z. T. mit dem faltenachsen- bzw. schieferungsflächenparalleln Verlauf der Bewegungsflächen zu begründen. Die faltenachsenparallelen Bewegungsflächen werden z. T. von schichtparallelen Bewegungsflächen versetzt. Solche Flächen weisen vereinzelt Bewegungsmarken auf (Bo282: $r^{33}97613$, $h^{55}71993$). Auch die Einfallswinkel der bei der Schuppenbildung hervorgerufenen, im Untersuchungsgebiet meist nach SE bzw. nach NW einfallenden Bewegungszonen, variieren (vgl. Abbildung 4.1.3.3).

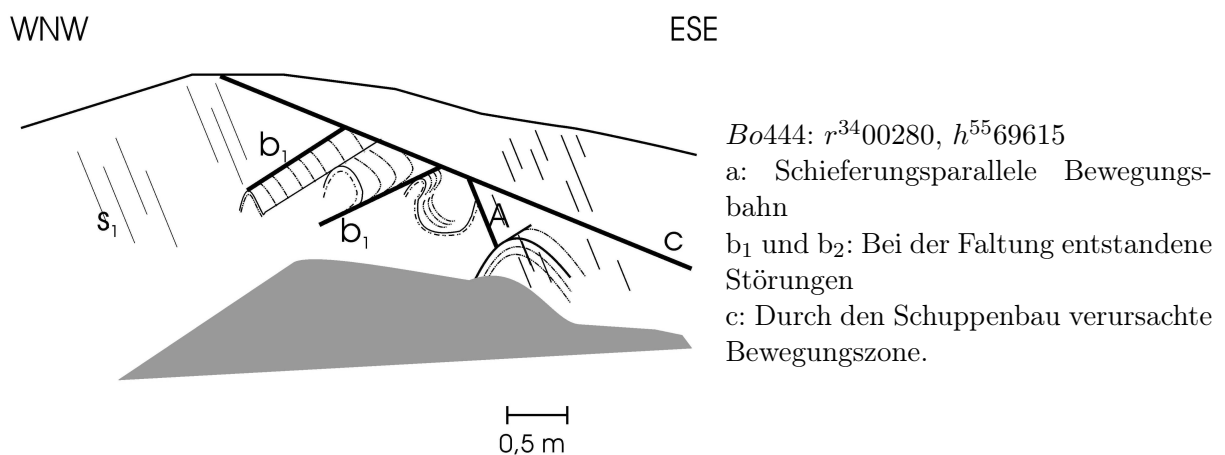


Abbildung 4.11: Verschiedene Bewegungsbahnen in einem Aufschluss mit Spezialfaltung.

Bei den Bewegungsbahnen weisen die Schleppungen an Schicht- und Schieferungsflächen dieser Gruppe auf einen aufschiebenden Charakter der Störungen hin. Der horizontale Versatz von Emsquarzit an 140° verlaufenden Querstörungen deutet auf ein Störungssystem mit Seitenver-

schiebungsanteilen hin. Aus dem Versatz von Emsquarzit können diese Systeme als rechtssinnige Systeme gedeutet werden.

Die bedeutendste variscische Bewegungszone im Untersuchungsgebiet stellt die Bopparder Hauptüberschiebungszone dar. Hierbei handelt es sich um eine breite, flach nach SE einfallende variscische Überschiebungszone, in der die Gesteine stark deformiert sind. Neben dieser sehr auffälligen Störungszone treten weitere mehr oder weniger unscheinbare Bewegungszone auf.

Postvariscische Bewegungsbahnen

Bei der zweiten Gruppe der Störungszonen entsprechen die Streichrichtungen denen der Gangmineralisationen der zweiten Gruppe. Die in Kapitel 4.1.3.2 dargestellten drei Hauptrichtungen ($\approx 30^\circ$, $\approx 110^\circ$ und $\approx 160^\circ$) können auch bei den Störungen unterschieden werden.

Es fällt auf, dass die Bewegungsbahnen ein Einfallen von über 60° aufweisen (vgl. Abbildung 4.12). Als Erkennungsmerkmal für diese Störungssysteme wurden die Quarz- und Erzmineralisationen auf oder im Bereich der Bewegungsbahnen herangezogen. Die Bewegungsbahnen dieser Gruppe werden als postvariscische Störungszonen gedeutet. Elemente, die auf den Bewegungssinn dieser Störungssysteme hinweisen, wurden nur an wenigen Stellen gefunden. Es handelt sich hierbei um flach einfallende Bewegungsharnische von $2,5^\circ$ bis 35° (z. B. Bo195: r3402406, h⁵⁵73243) auf etwa 110° verlaufenden Störungsflächen, die auf Blattverschiebungssysteme hindeuten.

Wegen der fehlenden Mineralisation in einigen Bereichen des Untersuchungsgebietes ist die Einteilung der Bewegungsbahnen in die jeweilige Gruppe nicht eindeutig. Durch die Kartielergebnisse konnte das variscische Störungssystem von KRÖLL (2001), BUDEUS (1988) und HAAS (1975) bestätigt und um ein postvariscisches erweitert werden (vgl. Abbildung 4.13). Da die Störungen und Gangmineralisationen in weiten Teilen von Konglomeraten, Terrassensedimenten oder Boden verdeckt sind, wurde das in Kapitel 3.1.2.2 beschriebene Verfahren angewendet, um den Verlauf überdeckter Störungszonen nachzuweisen. Des Weiteren konnten nur in einigen Aufschlüssen Bewegungsrichtungen entlang von überwiegend variscischen Bewegungsbahnen festgestellt werden. Diese Bewegungsbahnen weisen einen auf- oder abschiebenden Charakter auf. Lang durchhaltende Versätze sind wegen des einheitlichen lithologischen Aufbaus nicht zu kartieren. Durch die Bodenluftanalyse sind Störungen auch innerhalb homogener Einheiten zu verfolgen.

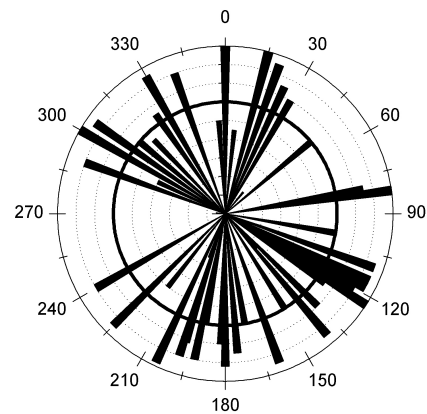
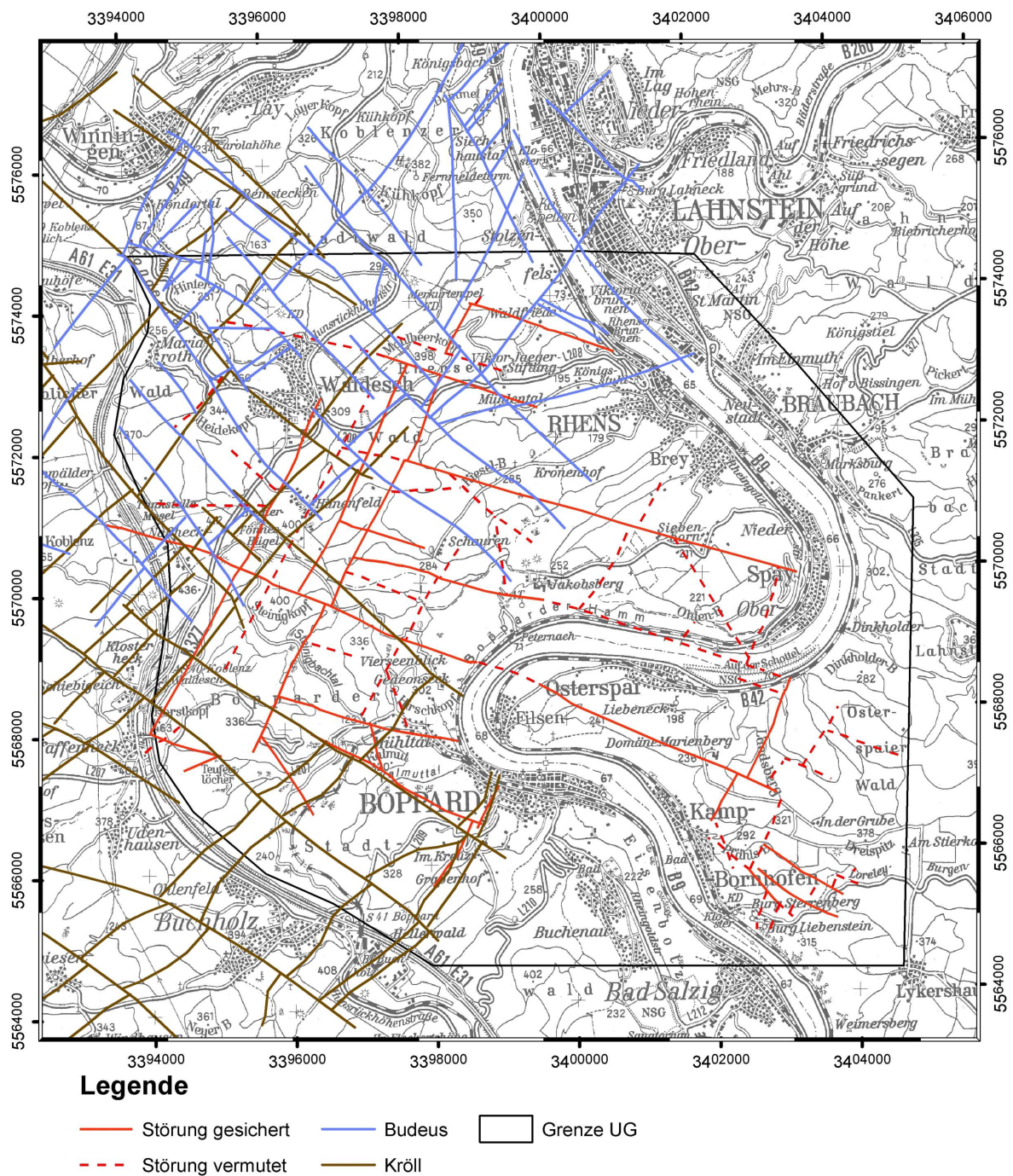


Abbildung 4.12: Raumdaten der Störungsflächen im UG Raum Koblenz.

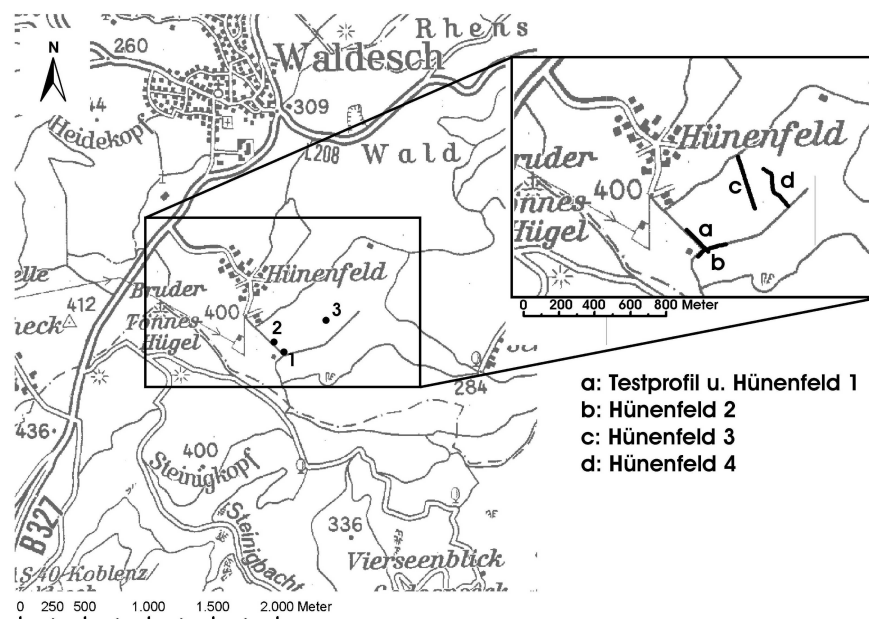


Geobasisinformationen (TK 25) © Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz.

Abbildung 4.13: Vergleich von postvariscischen Störungszonen (rot) und variscischen Störungszonen von BUDEUS (1988) (blau) und KRÖLL (2001) (braun).

4.1.4 Helium in der Bodenluft

Die idiomorphen Quarzkristalle sowie offene mit Quarzrasen überzogene Spalten in den postvariscischen Störungszonen deuten auf Permeabilitätszonen hin, die den Aufstieg von Geogasen aus dem Untergrund ermöglichen. Zur Erprobung des in Kapitel 3.1.2.2 dargestellten Probenahmeverfahrens und des in Kapitel 3.1.3.3 eingeführten Analyseverfahrens wurde ein Testgebiet südlich von Hünenfeld mit geringer Lockersedimentüberdeckung gewählt. In diesem Gebiet wurden entlang von vier Profilen Bodenluftproben genommen und an drei Standorten Proben während der 24 h Messung entnommen (vgl. Abbildung 4.14).



Geobasisinformationen (TK 25) © Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz.

Abbildung 4.14: Lage der Probenahmepunkte der 24 h Messung und der Bodenluftprofile im Testgebiet Hünenfeld im UG Raum Koblenz.

4.1.4.1 Identifikation von Störungszonen anhand von Bodenluftprofilen

Die Geländeuntersuchungen haben gezeigt, dass sich im Bereich südlich von Hünenfeld zwei Störungszonen kreuzen. Es handelt sich hierbei um eine durch Lesesteinfunde bestätigte, in 30° verlaufende Störungszone, die im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Hochfläche auf eine in 110° verlaufende vermutete Störungszone trifft (vgl. Abbildung 4.13, S. 81). Erste Testmessungen im Oktober 2004 bei der BGR in Hannover deuteten auf ein vielversprechendes Testgebiet hin (vgl. Abbildung 4.15).

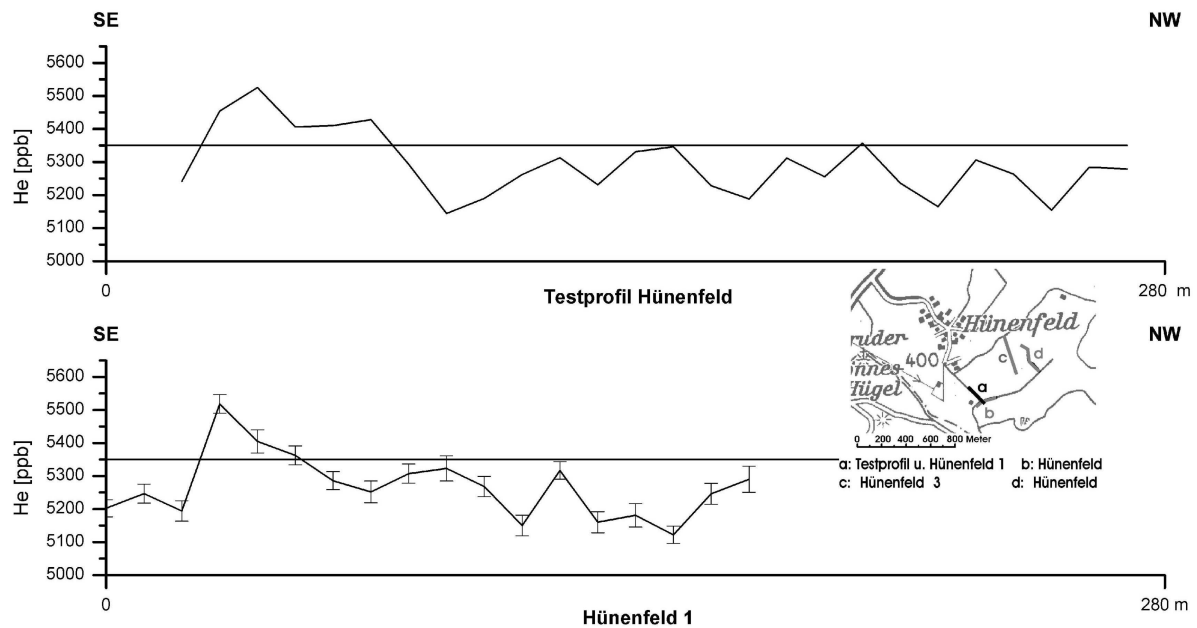


Abbildung 4.15: Heliumkonzentrationen in der Bodenluft entlang der Profile Testmessung und Hünenfeld 1.

Das in Abbildung 4.15 dargestellte Bodenluftprofil weist erhöhte *He*-Konzentrationen gegenüber der *He*-Atmosphärenkonzentration auf. Die höchsten Werte von über 5500 *ppb* wurden im Bereich der vermuteten Störung gemessen. Die Hintergrundkonzentration von *He* in der Bodenluft an diesem Tag lag bei rund 5260 *ppb*. Diese leicht erhöhten Werte können auf den an diesem Tag einsetzenden Niederschlag nach einer längeren Trockenperiode zurückgeführt werden (vgl. Kapitel 5.2.1.1). Bei der Testmessung hat sich gezeigt, dass ein Probenahmeabstand von zehn Metern geeignet ist, um erhöhte *He*-Konzentrationen im Bereich vermuteter Störungszonen im Untersuchungsgebiet nachzuweisen. Im Gebiet bei Hünenfeld wurden weitere Profile aufgenommen. Wegen der tonigen Gesteine im Untersuchungsgebiet war eine Probenahme möglich, sobald der Probenahmekampagne eine niederschlagsfreie Zeit von etwa drei bis fünf Tagen vorausging. Bei Nichteinhaltung dieser Wartezeit wurde an mehreren Stellen Sicker- bzw. Grundwasser angesaugt. Bei allen künftigen Probenahmen im UG Raum Koblenz wurde ein Probenahmeabstand von zehn Metern eingehalten.

Der Testmessung folgten weitere Messkampagnen, bei denen die Proben mit dem eigens konzipierten Massenspektrometer gemessen wurden. Um zu prüfen, ob die bei der Testmessung angetroffene Störungszone erneut gefunden werden kann, wurde zunächst im April 2005 ein Profil (Profil Hünenfeld 1) entlang der Profillinie der Testmessung gelegt. Dabei haben sich die erhöhten *He*-Konzentrationen des Testprofils bestätigt und die Störungszone konnte somit als gesichert angesehen werden (vgl. Abbildung 4.15). Bei dieser Messkampagne lag der Mittelwert der Hintergrundkonzentration von *He* in der Bodenluft bei etwa 5236 *ppb* und somit im Be-

reich der He -Konzentration der Atmosphäre. Auf der Basis dieser Ergebnisse wurde die He -Minimalkonzentration über Störungen im Testgebiet bei Hünenfeld mit 5350 ppb festgelegt. Alle He -Konzentrationen von mehr als 5350 ppb werden auf Geogasexhalationen aus der Kruste bzw. Mantel zurückgeführt.

Im Mai und Juni 2005 wurden weitere Bodenluftproben entlang von Profilen (Hünenfeld 2 und Hünenfeld 3) genommen. Das Profil Hünenfeld 2 verläuft in WSW-ENE Richtung und quert die 30° verlaufende Störungszone im Bereich der He -Anomalie des Profils Hünenfeld 1. Wie Abbildung 4.16 zeigt, wurden im Bereich der Störungszone (Profilmeter 50-70) erhöhte Konzentrationen von He in der Bodenluft gemessen. Damit bestätigte diese Messung die Werte des Testprofils und des Profils Hünenfeld 1. Es konnte weiter gezeigt werden, dass die Anomalien keine einmaligen Ereignisse darstellen und somit reproduzierbar sind. Eine weitere He -Anomalie bei Profilmeter 120 konnte keiner im Rahmen der Kartierarbeiten aufgenommenen Störung zugewiesen werden. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass die Anomalie eine variscisch streichende Permeabilitätszone nachzeichnet, die nicht kartierbar ist. Die Hintergrundkonzentration von He in der Bodenluft entlang dieses Profils lag im Mittel bei 5220 ppb und damit in Bereich der atmosphärischen He -Konzentration.

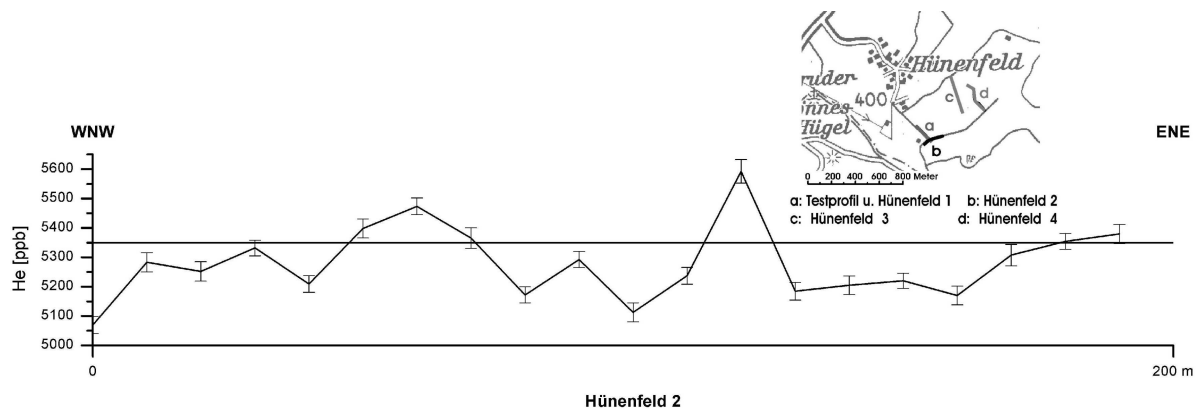
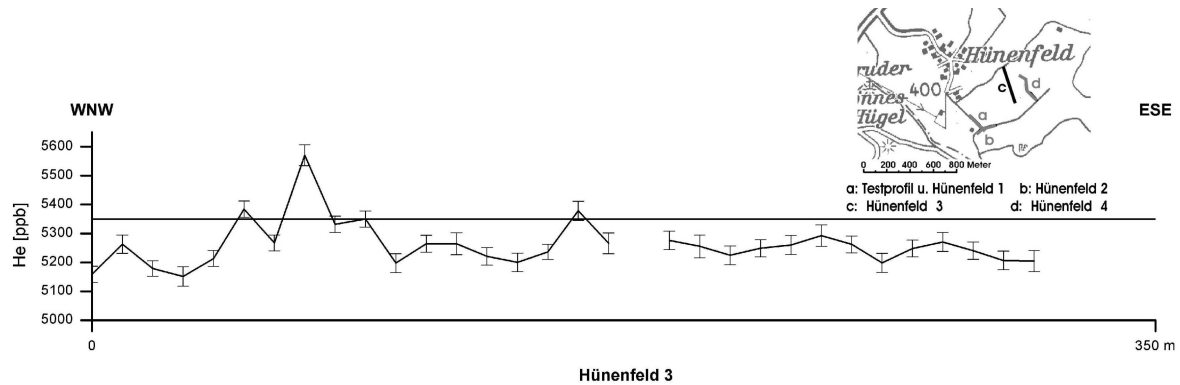


Abbildung 4.16: Heliumkonzentrationen in der Bodenluft entlang des Profils Hünenfeld 2.

Um eine in 110° verlaufende Störungszone nachzuweisen und gleichzeitig den weiteren Verlauf der in 30° verlaufenden Störungszone zu verfolgen, wurde das Profil Hünenfeld 3 gewählt. In diesem Profil wurden an zwei Stellen He -Anomalien gemessen (vgl. Abbildung 4.17). Die erhöhten Werte von 5385 ppb und 5570 ppb zwischen Profilmeter 60 und 80 konnten der schon in den Profilen Hünenfeld 1 und 2 nachgewiesenen Störung zugeordnet werden. Der vom Startpunkt in 160 m Entfernung auftretende Wert von etwa 5380 ppb wird einer vermuteten, in 110° verlaufenden Störungszone zugeordnet. Auch in diesem Profil lag der Mittelwert der Hintergrundkonzentration von He in der Bodenluft mit 5235 ppb noch im Bereich der He -Konzentration in der Atmosphäre.

Die in den Profilen Hünenfeld 1 bis 3 auftretenden, unterhalb der Atmosphärenkonzentration



Die Lücke im Diagramm bei Profilmeter 190 ist durch Probenverlust bei der Messung entstanden.

Abbildung 4.17: Heliumkonzentrationen in der Bodenluft entlang des Profils Hünenfeld 3.

liegenden *He*-Konzentrationen sind auf die Tatsache zurückzuführen, dass zu dieser Zeit die Messprozedur noch nicht ausgereift war. Bei den Messungen konnte der Gesamtdruck noch nicht aufgenommen werden und leichte Druckschwankungen wurden nicht erkannt. Da sich Schwankungen des Gesamtdrucks auf die Messwerte auswirken, sind *He*-Konzentrationen deutlich unterhalb von 5200 *ppb* auf diesen Effekt zurückzuführen (vgl. Abbildung 3.8, S. 57).

Um den Verlauf der im Profil Hünenfeld 3 nachgewiesenen Störung in 30° Richtung bestätigen zu können, wurde ein weiteres Bodenluftprofil aufgenommen (vgl. Abbildung 4.18). In Profil Hünenfeld 4 konnte eine *He*-Anomalie von etwa 5790 *ppb* nachgewiesen werden, die im vermuteten Verlauf der Störung liegt. Damit konnte der weitere Verlauf bestätigt und eine weitere Störung im Testgebiet nachgewiesen werden.

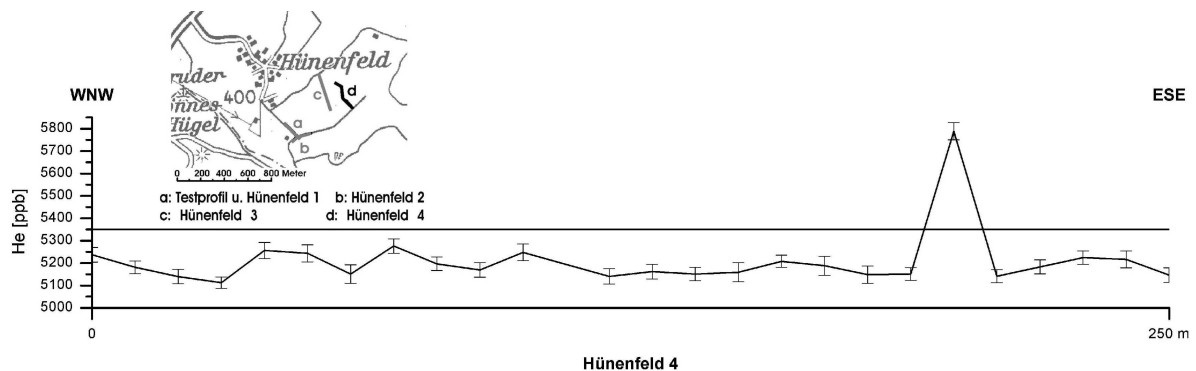


Abbildung 4.18: Heliumkonzentrationen in der Bodenluft entlang des Profils Hünenfeld 4.

Die *He*-Hintergrundkonzentration in der Bodenluft des Profils Hünenfeld 4 liegt mit 5190 *ppb* im von Geogasen unbeeinflussten Konzentrationsbereich. Dieser Wert liegt etwas unterhalb der *He*-Konzentration in der Atmosphäre. Im Gegensatz dazu liegen die *He*-Konzentrationen der

im Feld genommenen Atmosphärenluft im Bereich von 5220 *ppb*. Eine Verringerung der *He*-Konzentrationen in den Proben durch die etwa zwölfstündige Lagerung kann somit ausgeschlossen werden. Die geringeren *He*-Konzentrationen lassen sich auf den während der Feldkampagne im April 2007 beobachteten nächtlichen Nebel zurückführen (vgl. Kapitel 5.2.1). Die Ergebnisse der Bodenluftmessungen im Testfeld bei Hünenfeld bekräftigen die in Kapitel 4.1.3.2 und Kapitel 4.1.3 dargelegten Ergebnisse, dass neben dem schon in früheren Arbeiten nachgewiesenen variscischen Störungssystem ein junges postvariscisches Störungssystem existiert. Dies kann zumindest für das Testgebiet südlich von Hünenfeld durch die Bodenluftmessungen bestätigt werden.

4.1.4.2 Variationen der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft

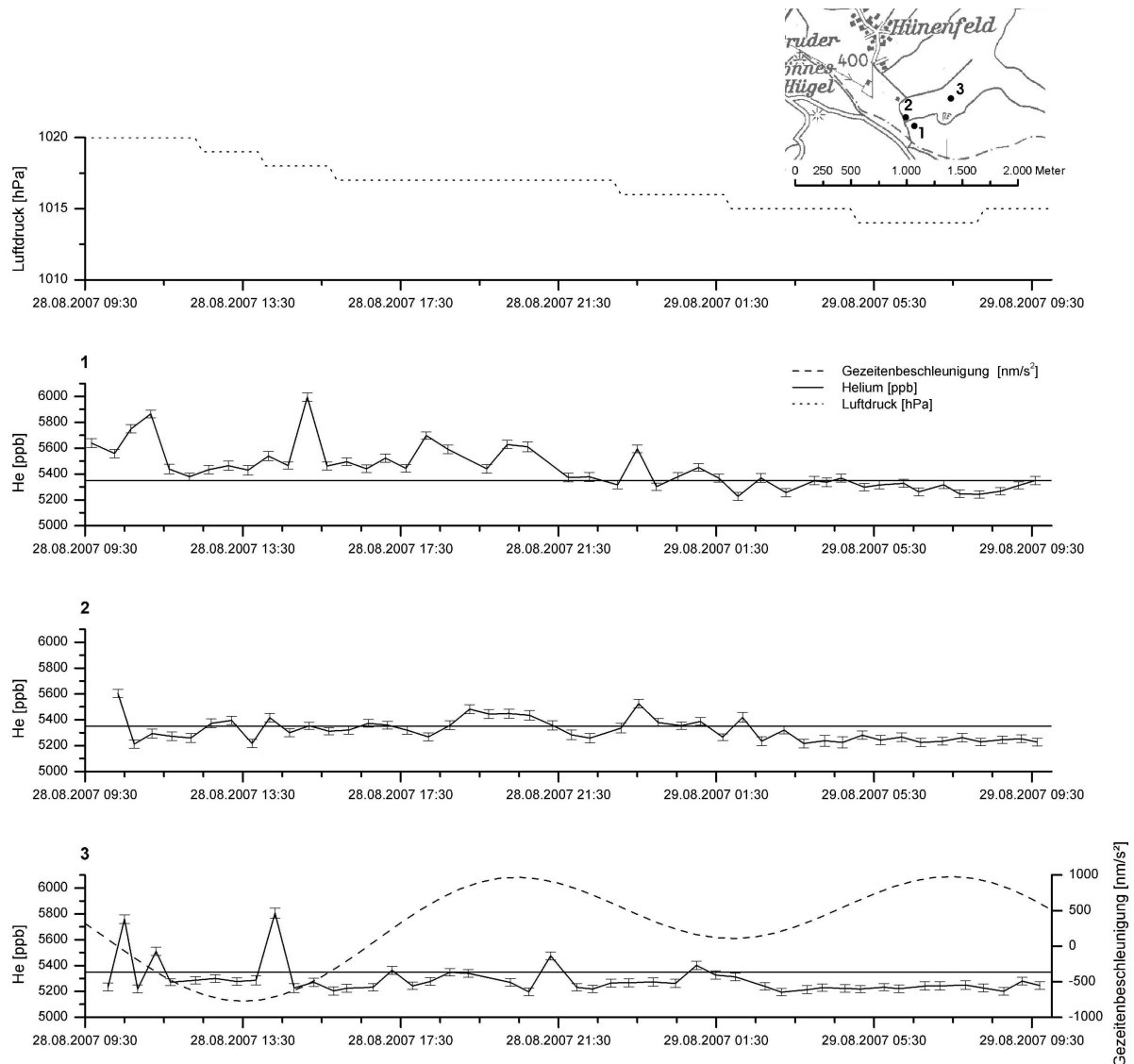
Bei Voruntersuchungen zu weiteren laufenden Forschungsprojekten und bei den Untersuchungen auf Amrum hat sich gezeigt, dass die *He*-Konzentrationen der Bodenluft schwanken können (vgl. Kapitel 4.2.2). Um Schwankungen der *He*-Konzentrationen der Bodenluft im Raum Koblenz zu untersuchen, wurden während der 24 h Messung Proben an drei Standorten entnommen, um eine Abhängigkeit der *He*-Konzentrationen von den Gezeiten zu untersuchen (vgl. Abbildung 4.19). Die in Abbildung 4.19 dargestellte Gezeitenkurve wurde mit dem Programm T-Soft des Royal observatory of Belgium berechnet.

Die Messung wurde vom 28.08.2007 auf den 29.08.2007 bei Vollmondkonstellation durchgeführt. Dabei lag der Probenahmepunkt 1 auf einer 110° verlaufenden Störungszone, der Probenahmepunkt 2 auf keiner Störung und der Probenahmepunkt 3 lag einige Meter neben einer 30° verlaufenden Störungszone. Bei der Messung zeigte sich in Probenahmepunkt 1 deutlich die Beeinflussung durch die in diesem Bereich verlaufende Störungszone. Über die gesamte Kampagne wurden dort die höchsten *He*-Konzentrationen aufgenommen. Die Messwerte des Probenahmepunktes 2 lagen im Mittel mit 5315 *ppb* unterhalb von 5350 *ppb*. Diese im Vergleich zur *He*-Konzentration in der Atmosphäre erhöhten Werte können evtl. auf den in diesem Bereich sehr tonigen Boden zurückgeführt werden (vgl. Kapitel 5.2.1). An Standort 3 zeigte sich ebenfalls eine Beeinflussung durch eine Störung, wobei die *He*-Konzentrationen meist unterhalb der Konzentrationen aus Probenahmepunkt 1 lagen. Dies ist auf die Lage des Standortes 3, im Randbereich der Störungszone, zurückzuführen.

Die Beeinflussung der *He*-Konzentrationen durch die Gezeitenkräfte ist im Raum Koblenz nicht so deutlich ausgeprägt wie auf Amrum (vgl. Kapitel 4.2.2.2). Die höchsten *He*-Konzentrationen mit Werten von 5800 *ppb* der Probenahmestelle 3 und fast 6000 *ppb* in Standort 1 wurden zwischen 09:00 Uhr und 16:00 Uhr am 28.08.2007 gemessen. In diesem Zeitraum lag die Gezeitenbeschleunigung im negativen Bereich. Bei positiven Gezeitenbeschleunigungswerten fielen die Anomalien deutlich geringer aus. Bei negativen Gezeitenbeschleunigungen können somit Gaswegsamkeiten im Untergrund weiter geöffnet sein als bei positiven Gezeitenbeschleunigungswerten. Um diese

ersten Beobachtungen zu stützen, sind im Rahmen eines Projektes des Fachgebietes Geologie der Universität Duisburg-Essen weitere Dauermesskampagnen geplant.

Im Verlauf der 24 h Messung zeigte sich, dass die He -Anomalien nachts schwächer wurden und teilweise ganz ausblieben. Ob dieses Verhalten auf meteorologische Einflüsse zurückzuführen ist, lässt sich nicht eindeutig klären. Eine Beeinflussung durch den leichten Nebel in der Nacht vom 28.08.2007 auf den 29.08.2007 ist nicht auszuschließen.



Die Luftdruckdaten wurden von der Wetterstation Koblenz Lay, 125 m über NN, von R.KRIENKE (2007) aufgezeichnet.

Abbildung 4.19: Variation der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft während der 24 h Messung vom 28. auf den 29.08.2007 bei Vollmondkonstellation.

4.2 Amrum

Die Nordseeinsel Amrum wurde als Referenzgebiet ausgewählt, da sich im Untergrund zwei tektonische Gegebenheiten überlagern, die Gaswegsamkeiten schaffen können (vgl. Kapitel 2.2.2.4). Die tektonischen Elemente sind zwar mit einer mächtigen Lockersedimentschicht bedeckt (vgl. Kapitel 2.2.2.3), doch die noch anhaltende Hebung des Nordseeraums und die halokinetischen Bewegungen im Untergrund begünstigen die Anlage von Permeabilitätszonen bis hin zur Oberfläche. Bei der auf Amrum durchgeführten Messkampagne sollte geprüft werden, ob die im UG Raum Koblenz erfolgreich getestete Methodik auch in einem Gebiet mit mächtiger Lockersedimentbedeckung anwendbar ist.

4.2.1 Geologie und Tektonik

Da im Inselinneren keine Festgesteine anstehen, wurde der oberflächennahe Aufbau der Sedimente durch Sondierungen erkundet. An den Standorten 1 bis 5, die den Standorten der Dauermessung entsprechen, wurden Sondierungsarbeiten zur Sedimentgewinnung durchgeführt (vgl. Abbildung 4.20). Dabei wurde im Bereich der Standorte 2 und 2a nur eine Sondierung abgeteuft.

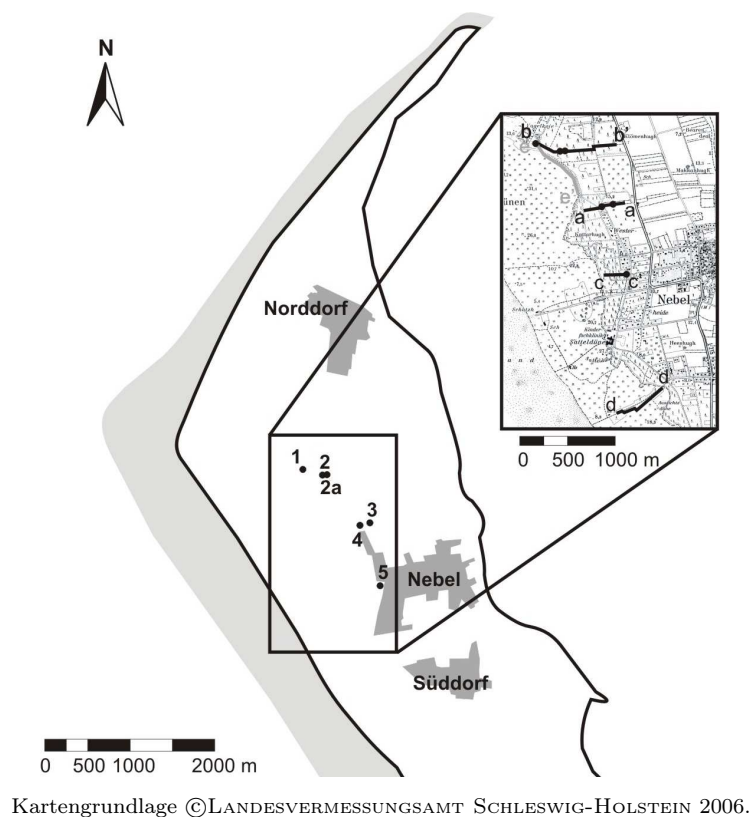


Abbildung 4.20: Lage der Dauermessstandorte und Bodenluftprofile im UG Amrum.

Bei den fünf aufgenommenen Sedimentprofilen im Übergangsbereich von der Heide zu den Dünen hat sich gezeigt, dass der Sedimentkörper zumindest im obersten Meter homogen aufgebaut ist. Die Lockersedimente bestehen aus rötlich braunem Feinsand (vgl. Abbildung 4.21) mit einem variierenden Anteil von Mittelsand.



Zu erkennen ist die rötlich braune Farbe des Sediments.

Abbildung 4.21: Sedimentkern der Sondierung 5 im Bereich von Nebel auf Amrum.

Lagenweise ist im Sand auch Schluff und Feinkies enthalten (Anhang A.2). Bei den Ablagerungen handelt es sich um holozäne Dünensedimente, welche die eiszeitlichen Moränensedimente überlagern. Ein Hinweis auf die pleistozänen Sedimente stellen die im tieferen Bereich von Profil 5 auftretenden Kiese dar. In den Bereichen von 0,5 m bis 1,0 m treten *Mn*- und *Fe*-Konkretionen auf, die sich im Grundwasserschwankungsbereich gebildet haben. Anzeichen von Vererzungen, die auf lineare Permeabilitätszonen im Untergrund hinweisen, wurden im Untersuchungsgebiet nicht gefunden.

Aufgrund der Salztektunik und der im Untergrund Amrums vermuteten TEF werden Störungszonen im Bereich von Amrum vermutet, die rezent aktiv sind und Permeabilitätszonen darstellen (vgl. Kapitel 2.2.2.4). Diese Permeabilitätszonen sollten im Rahmen der Geländekampagne durch die Messung der *He*-Konzentrationen in der Bodenluft gesucht werden.

4.2.2 Heliumkonzentrationen in der Bodenluft

Im Gegensatz zum UG Raum Koblenz, in dem die Sedimentüberdeckung tonig und nur geringmächtig ist und zu relativ eng begrenzten Aufstiegswegen des Geogases führt, können die Bereiche erhöhter Geogaskonzentrationen über Störungen mit mächtiger Überdeckung wie im UG Amrum weiter auffächern (vgl. Abbildung 4.22). Dies führt zu einer breiten Aufstiegszone des Geogases durch das Sediment, in der die *He*-Konzentrationen aufgrund von Durchmischungsprozessen meist geringer sind. Für das UG Amrum wird der Grenzwert, der auf eine Störung im Untergrund hinweist, mit 5300 ppb festgesetzt. Ziel der Messkampagne war es, zunächst die vermuteten Störungssysteme zu detektieren. Dazu wurden fünf Profile aufgenommen, um gaspermeable Zonen aufzuspüren. Zusätzlich wurden zwei 24 h Messungen und eine 10 h Messung durchgeführt, um Schwankungen der *He*-Konzentrationen in der Bodenluft über die Zeit zu erfassen. Die Daten

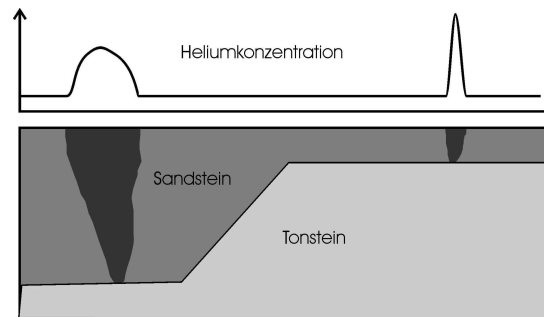


Abbildung 4.22: Schematische Skizze der Konzentrationsverteilung von Helium in der Bodenluft über Störungen mit mächtiger und geringer Sedimentüberdeckung nach den Ergebnissen der Messungen auf Amrum und im Raum Koblenz.

der Wetterstation der Insel Föhr ($54^{\circ} 42.03' N$, $008^{\circ} 27.36' E$) wurden von A. OHMS für zur Verfügung gestellt.

4.2.2.1 Identifikation von Störungszonen anhand von Bodenluftprofilen

Die Profile *a* bis *d* verlaufen in E-W Richtung im Übergangsbereich von der Heide- zur Dünenzone und das Profil *e* verläuft am westlichen Rand der Dünenzone in N-S Richtung (vgl. Abbildung 4.23).

Aus Abbildung 4.23 ist ersichtlich, dass nur im Profil *c* keine *He*-Konzentrationen über 5300 *ppb* gemessen wurden. Leicht erhöhte *He*-Konzentrationen treten in Profil *a* mit 5316 *ppb* bis 5335 *ppb* und *d* mit 5336 *ppb* auf. Deutlichere Anomalien zeigen sich in den Profilen *b* und *e* mit Werten von 5330 *ppb* bis 5814 *ppb* sowie 5430 *ppb*. Die Hintergrundkonzentrationen von *He* der Profile *a* bis *c* und *e* lagen im Bereich von ± 10 *ppb* um die Atmosphärenkonzentration. Die Hintergrundkonzentration im Profil *d* lag mit durchschnittlich 5240 *ppb* etwas höher, weist aber keine Beeinflussung durch meteorologische, lithologische oder weitere Faktoren auf.

Die Anomalien in den Profilen *a* (Profilometer 140 und 280) und *b* (Profilometer 230 und 300) deuten auf eine in NNE-SSW verlaufende Störungszone hin. Die erhöhten *He*-Konzentrationen in den Profilen *b* (Profilometer 400) und *e* (Profilometer 20) deuten auf eine weitere Permeabilitätszone im Untergrund hin. Da die Anomalien in etwa im Kreuzungsbereich der beiden Profillinien liegen, kann über den genauen Verlauf dieser Störungszone aus den vorliegenden Ergebnissen keine eindeutige Aussage getroffen werden. Die Richtung dieser Permeabilitätszone muss jedoch im Bereich NNW-SSE bis NE-SW liegen. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Störungszonen auch in Gebieten mächtiger Sedimentbedeckung zu erfassen sind.

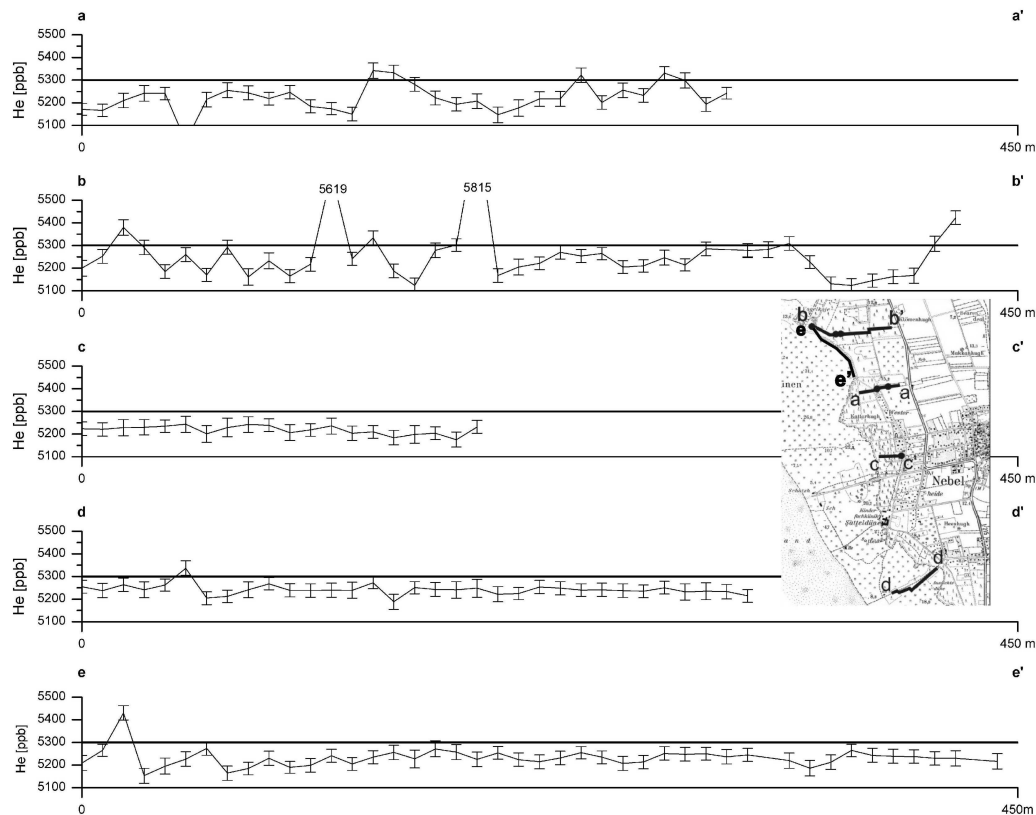
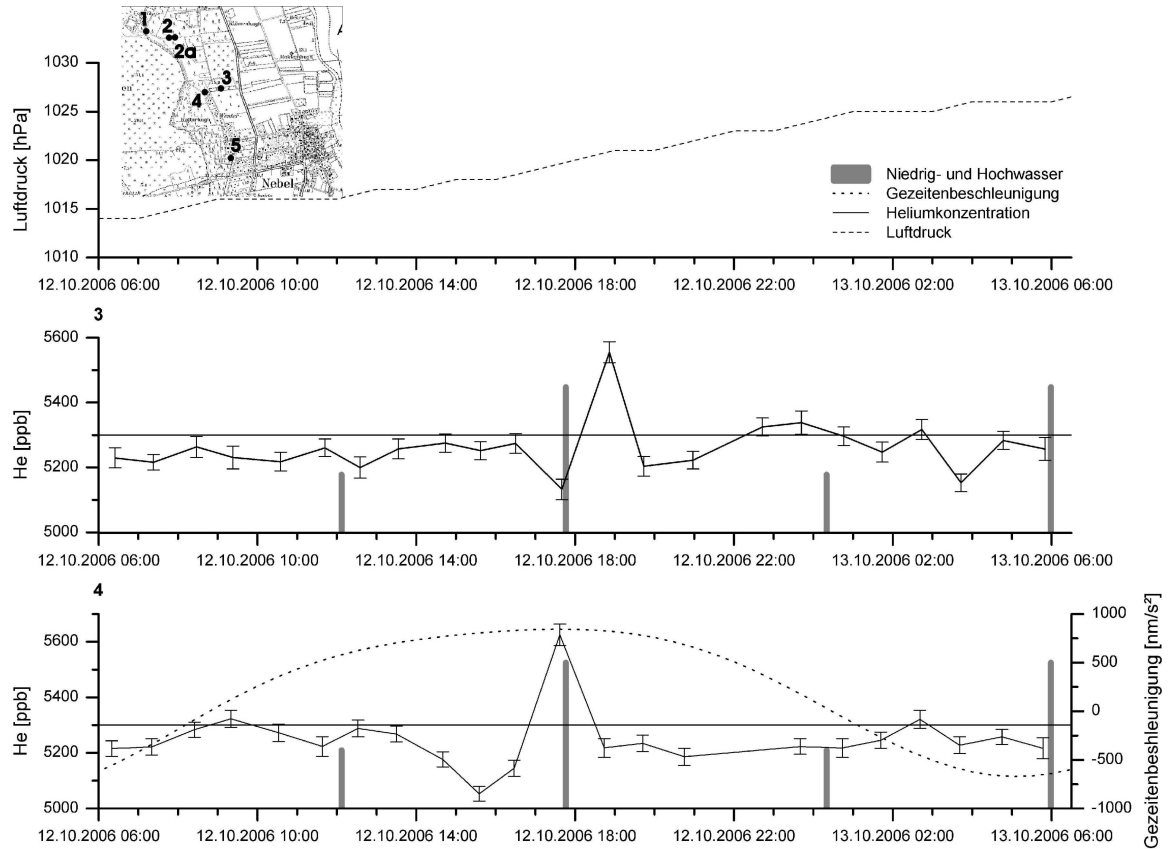


Abbildung 4.23: Heliumkonzentrationen in der Bodenluft entlang der Profile im UG Amrum.

4.2.2.2 Variationen der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft

Nach den ersten positiven Ergebnissen bei den Profilmessungen wurde in einem zweiten Schritt versucht, diese Ergebnisse zu stützen und vermutete Variationen der *He*-Konzentrationen, die durch die Ozeangezeiten hervorgerufen werden können, zu untersuchen. Hierzu wurde eine erste 24 h Messung an den Standorten 3 und 4, an denen die höchsten *He*-Konzentrationen in Profil *a* gemessen wurden, durchgeführt (vgl. Abbildung 4.24).

Ziel der Langzeitmessung war es, die im Profil *a* aufgenommenen Anomalien zu bestätigen sowie Variationen der *He*-Konzentration über die Zeit zu erfassen. Bei dieser 24 h Messung zeigte sich, dass die bei der Profilmessung angetroffenen Anomalien nur zeitweise auftreten. Das zeitweilige Auftreten der *He*-Anomalien steht nicht mit der Änderung von meteorologischen Faktoren wie Luftdruck (vgl. Abbildung 4.24) oder leichtem Niederschlag in Zusammenhang. Aus der Abbildung 4.24 wird deutlich, dass die höchsten *He*-Konzentrationen mit Werten von über 5500 *ppb* um Hochwasser auftraten. Dies zeigt deutlich einen Einfluss der Ozeangezeit, besonders bei Niedrig- und Hochwasser, auf die Variation der *He*-Konzentration in der Bodenluft.



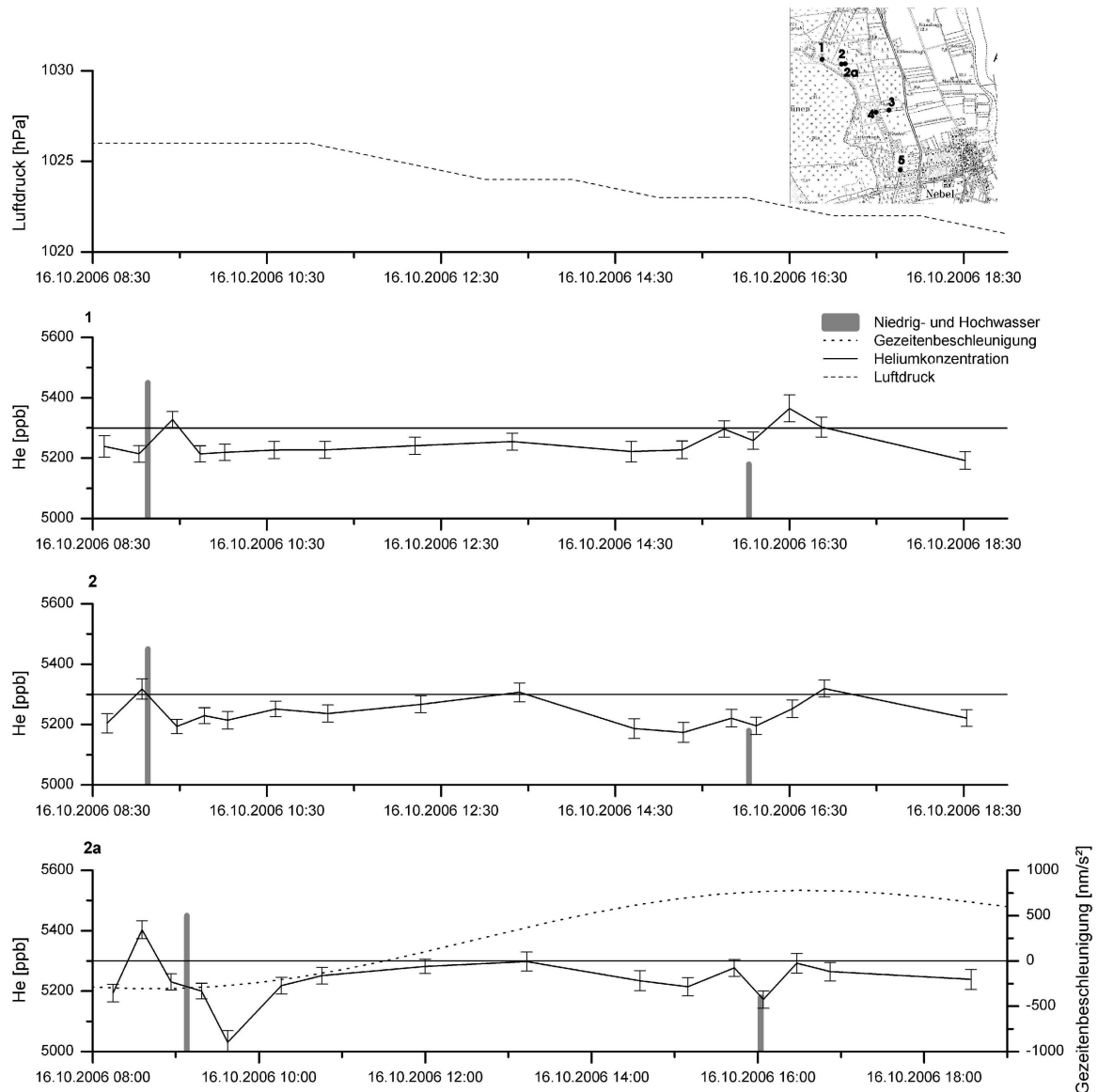
Daten des Luftdrucks wurden von der Wetterstation auf Föhr von A. OHMS aufgezeichnet.

Abbildung 4.24: Variation der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft während der 24 h Messung vom 12. auf den 13.10.2006.

Um die Ergebnisse der ersten 24 h Messung zu stützen, wurde am 16.10.2006 eine 10 h Messung an den Standorten 1, 2 und 2a durchgeführt (vgl. Abbildung 4.25). An diesen Positionen wurden die höchsten *He*-Konzentrationen im Profil *b – b'* gemessen.

Die *He*-Anomalien während dieser Messung traten ebenfalls bei Hochwasser auf. Die Konzentrationen von *He* lagen mit Werten von 5320 *ppb* bis 5390 *ppb* deutlich unter den Höchstwerten der Messung vom 13.10.2006. Im Gegensatz zur ersten Messung konnte ein Abfallen der *He*-Konzentrationen um Niedrigwasser beobachtet werden.

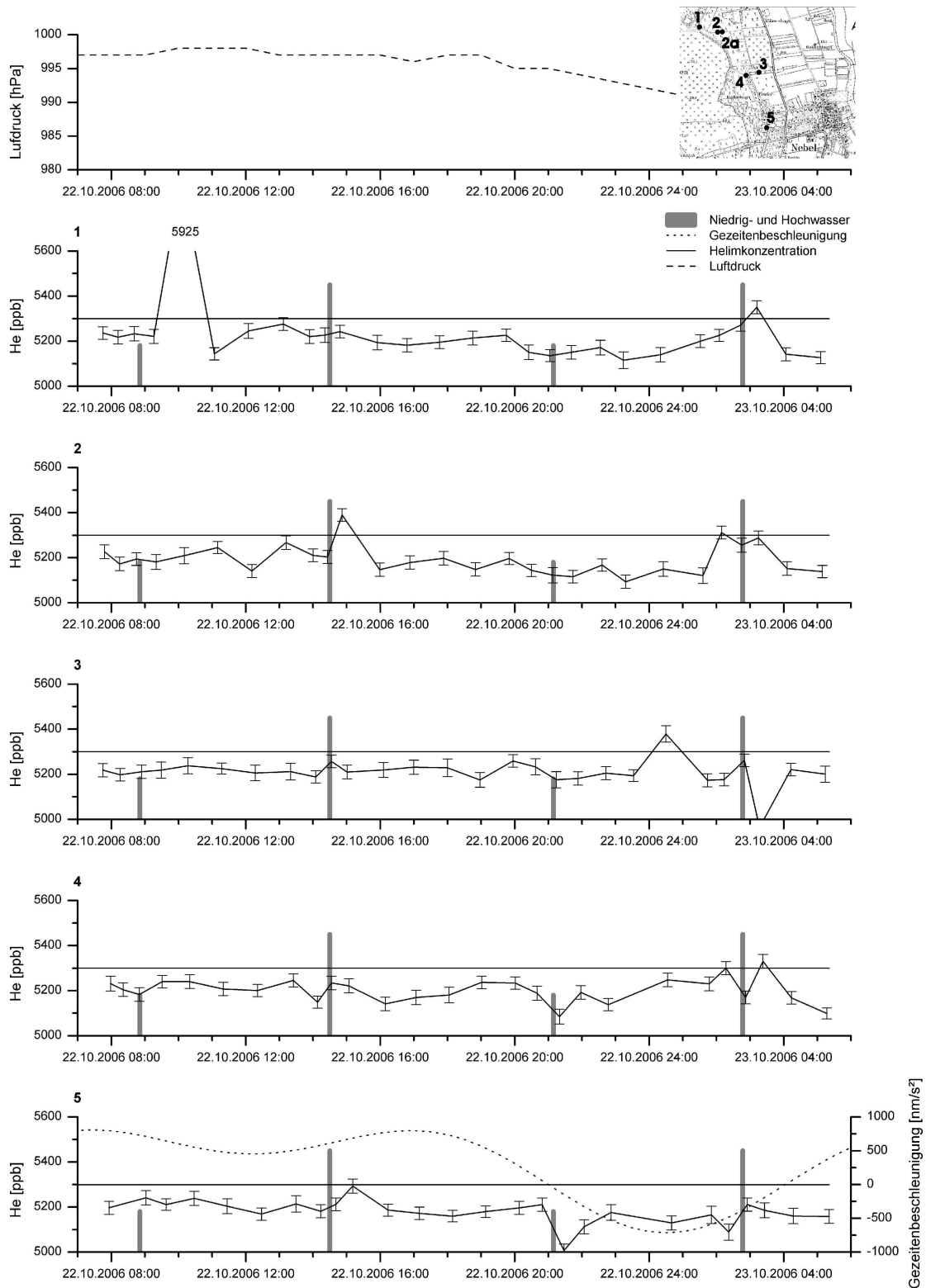
Für eine zweite 24 h Messung wurde die Neumondkonstellation am 22.10.2006 abgewartet, um eine mögliche stärkere Beeinflussung dieser Konstellation auf die Variation der *He*-Konzentrationen in der Bodenluft untersuchen zu können (vgl. Abbildung 4.26). Neben den Standorten 1 bis 4 wurde ein im Bereich des Profils *d* liegender Standort (Standort 5), der bei den Profilmessungen keine erhöhte *He*-Konzentration gezeigt hat, hinzugenommen. Auch bei dieser Messung traten *He*-Anomalien nur bei Hochwasser auf, wobei diese Anomalien weniger signifikant als die der 24 h Messung vom 12.10.2006 auf den 13.10.2006 waren. Auch der Standort 5 zeigte erhöhte Werte beim Hochwasser am 22.10.2006 um 14:30 Uhr. Das Absinken der Konzentrationen bei



Daten des Luftdrucks wurden von der Klimastation auf Föhr von A. OHMS aufgezeichnet.

Abbildung 4.25: Variation der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft während der 10 h Messung am 16.10.2006.

Niedrigwasser war während des Niedrigwassers am 22.10.2006 um 8:51 Uhr nicht so deutlich ausgeprägt, konnte aber bei Niedrigwasser am 22.10.2006 um 21:09 Uhr eindeutig beobachtet werden. Die an Standort 1 gemessene *He*-Konzentration von 5881 *ppb* zwischen dem Niedrigwasser vom 22.10.2006 um 08:51 Uhr und dem Hochwasser am 22.10.2006 um 14:30 Uhr ist vermutlich auf eine kurzzeitig geöffnete Wegsamkeit zurückzuführen.



Daten des Luftdrucks wurden von der Klimastation auf Föhr von A. OHMS aufgezeichnet.

Abbildung 4.26: Variation der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft während der 24 h Messung vom 22. auf den 23.10.2006.

Die Daten der 24 h und 10 h Messungen zeigen, dass die Variationen der *He*-Konzentrationen auf die Ozeangezeiten zurückgeführt werden können. Bei der Auswertung der Ergebnisse muss neben der Ozeangezeit auch die Erdgezeit berücksichtigt werden, wobei die Maxima und Minima beider Gezeitsysteme aufgrund der Küstenform nicht immer deckungsgleich liegen. So kann der Effekt der Ozeangezeit durch die Erdgezeit geschwächt oder verstärkt werden. Eine Beeinflussung der *He*-Konzentrationen in der Bodenluft durch die Erdgezeit ist bei der Messkampagne auf Amrum nicht eindeutig zu erkennen. Die Abbildungen 4.24 (S. 92) und 4.26 (S. 94), zeigen für die mit dem Programm T-Soft des Royal observatory of Belgium berechnete Erdbeschleunigung höhere *He*-Konzentrationen, wenn sich ein Maximum der Erdgezeit und Hochwasser überlagern.

Die Messkampagne auf Amrum hat gezeigt, dass das Auffinden von Störungszonen anhand von *He*-Anomalien nicht einfach und eindeutig ist. Die Anomalien, die während einer Probenahme entlang eines Profils gemessen wurden, können durch Geogasaufstieg entlang kurzzeitig geöffneter Aufstiegspfade hervorgerufen werden. Dauerhafte Gaswegsamkeiten aus dem Untergrund wurden im Untersuchungsgebiet auf Amrum nicht eindeutig nachgewiesen. Die Profile *a*, *b* und *e* zeigen jedoch Tendenzen für eine gaspermeable Zone im Untergrund.

Die Variationen der *He*-Konzentrationen werden durch die sich ändernden Druckverhältnisse im Untergrund hervorgerufen, die durch den sich permanent ändernden Auflastdruck des Wassers gesteuert werden. Dabei kommt es bei Hochwasser zum höchsten Wasserstand. Dies entspricht dem größten Auflastdruck. Mit dem Übergang zum ablaufendem Wasser setzt Entlastung ein. Die sich im Moment des größten Auflastdrucks verschlossenen oder stark verengten Wegsamkeiten können sich wieder öffnen und das angesammelte Geogas kann impulsartig entweichen und als Anomalie an der Oberfläche gemessen werden. Der Effekt des Auflastdrucks wird durch die Erdgezeit entweder geschwächt oder verstärkt, so dass die Zeiträume, in denen die Pemeabilitätszonen „geschlossen“ sind, variieren können. Die Minimalkonzentrationen an *He* in der Bodenluft im Umfeld des Niedrigwassers stehen im Zusammenhang mit dem geringsten Auflastdruck. Durch den Gasdruck im Untergrund können kurzzeitig zusätzliche Gaswegsamkeiten geöffnet werden, auf denen das Geogas aufsteigen kann. Somit tritt Geogas flächiger aus. Dies führt zu geringeren *He*-Konzentrationen in der Messstelle.

Bei diesem dynamischen System ist es möglich, dass einzelne bei Niedrigwasser geschaffene Aufstiegspfade offen bleiben, andere jedoch nur kurzzeitig auftreten. Da eine Störungszone keine ebene Fläche darstellt, sondern aus vielen unebenen z. T. verspringenden Flächen aufgebaut wird, können *He*-Anomalien „wandern“. Durch die Druckänderungen im Untergrund werden innerhalb einer Störungszone einzelne Aufstiegspfade geschlossen und gleichzeitig in der gleichen Störungszone an anderer Stelle neu Pfade geöffnet. Die Anomalien, die in den Profilen deutlich nachgewiesen wurden, aber bei den Dauermessungen nicht mehr so deutlich in Erscheinung traten, werden als bei der Profilmessung angetroffene kurzzeitig geöffnete Aufstiegspfade gedeutet. Auch das einmalige Auftreten von *He*-Anomalien während der Dauermessungen wird auf dieses Phänomen zurückgeführt.

4.3 Weitere Beobachtungen und Ergebnisse

4.3.1 Variationen der Heliumkonzentrationen innerhalb sehr kurzer Zeiträume

Bei Voruntersuchungen im Juni 2007 in Plaidt im Rahmen eines im Fachgebiet Geologie der Universität Duisburg-Essen geplanten Projektes hat sich gezeigt, dass die He -Konzentrationen eines Standorts schon innerhalb weniger Minuten stark variieren können (vgl. Abbildung 4.27). Diese Messungen wurden außerhalb des UG Raum Koblenz durchgeführt und weisen deutlich größere Schwankungsbreiten der He -Konzentration in der Bodenluft auf als im UG Raum Koblenz. Diese Beobachtung muss ebenfalls untersucht werden. Hierzu sind Dauermessungen an

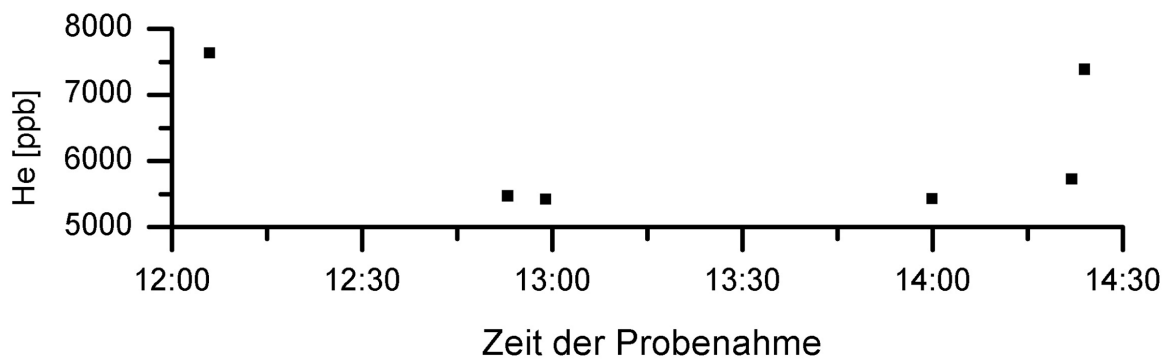


Abbildung 4.27: Variation der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft während einer Testmessung bei Plaidt am 19.06.2007.

ausgewählten Standorten geplant. Dabei soll das Messgerät im Dauerbetrieb-Modus betrieben werden, um die He -Konzentrationsänderungen genauer aufzuzeichnen. Solche Dauermessungen sollten ebenfalls in Gebieten unterschiedlichen geologischen Aufbaus und tektonischer Aktivität durchgeführt werden, um die Messergebnisse besser vergleichen zu können.

5 Interpretation der Ergebnisse

5.1 Störungssysteme

Für den Raum Koblenz konnten Belege für das von SCHREIBER & ROTSCH (1998) postulierte Störungssystem gefunden werden. Die in Kapitel 4.1.3 dargelegten Ergebnisse belegen ein post-variscisches Störungsmuster im UG Raum Koblenz im linksrheinischen und rechtsrheinischen Bereich des Untersuchungsgebietes. Dabei können die bei den Profilmessungen angetroffenen Anomalien auf Störungen zurückgeführt werden, da die Heliumkonzentrationen in der Bodenluft oberhalb der Störungszonen deutlich oberhalb des Grenzwertes von 5350 *ppb* liegen. Um das im linksrheinischen Testgebiet bei Hünenfeld nachgewiesene Störungssystem (vgl. Abbildung 5.1) auf das gesamte UG Raum Koblenz und darüber hinaus zu übertragen, ist eine flächendeckende Probenahme von Bodenluft nötig.

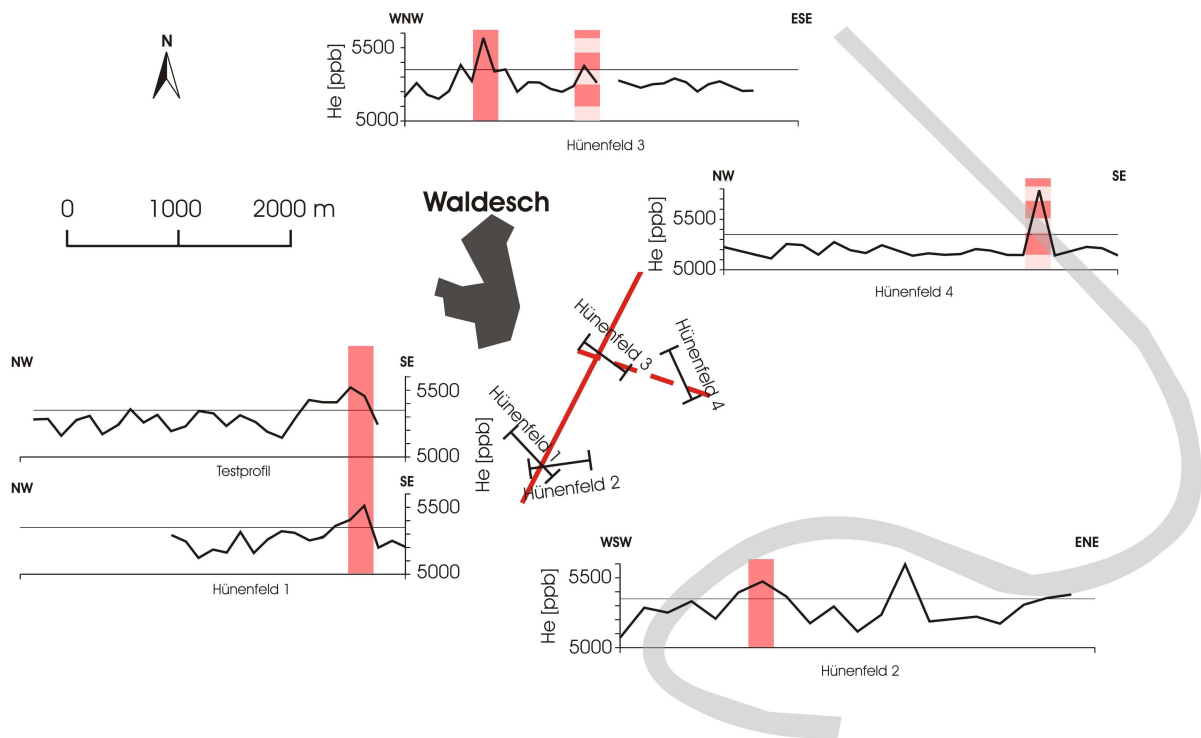


Abbildung 5.1: Schematische Darstellung des jungen Störungsmusters im Testgebiet Hünenfeld im UG Raum Koblenz.

Da die vorgezeichneten variscischen Elemente (variscisch streichende Elemente (30° bis 50°) sowie variscische Querstörungen) die postvariscischen Störungszonen beeinflussen können, müssen zur Stützung des von SCHREIBER & ROTSCH (1998) postulierten Störungssystems sowohl postvariscische Mineralisationen als auch *He*-Anomalien in der Bodenluft herangezogen werden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass variscische Störungssysteme vereinzelt reaktiviert wurden und somit Gaswegsamkeiten darstellen.

Die *He*-Anomalien im Testgebiet Hünenfeld sind mit Werten von 5400 *ppb* bis 5500 *ppb* deutlich niedriger gegenüber denen großer Störungszonen (JONES & DROZD 1983). Die Variation der *He*-Konzentrationen muss vor allem in Gebieten niedriger *He*-Anomalien wie z. B. im Raum Koblenz bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden. Im ungünstigsten Fall kann es vorkommen, dass die *He*-Konzentrationen über einer Störung im Untergrund nicht über dem geforderten Grenzwert liegen und somit die Störung nicht erkannt wird. Die Einflussfaktoren, die dazu führen, dass Störungen nicht erkannt werden, werden in Kapitel 5.2 beschrieben.

In Untersuchungsgebieten mit mächtiger Sedimentüberdeckung (wie z. B. im UG Amrum) stellte es sich als schwierig dar, die genaue Lage tektonischer Elemente eindeutig zu erfassen (vgl. Kapitel 4.2.2). Hier konnten ebenfalls erhöhte Bodenluftkonzentrationen von *He* nachgewiesen werden, wobei die Konzentrationsunterschiede zur Atmosphärenluft geringer ausfielen als im UG Raum Koblenz und räumlich nicht scharf begrenzt waren. In solchen Gebieten ist eine Detektierung von Störungen ungenau und erhöhte *He*-Konzentrationen können lediglich als Anzeichen einer Störungszone im Untergrund angesehen werden. Um die Lage der Störungszonen weiter eingrenzen zu können, müssen zusätzliche Untersuchungen z. B. geophysikalischer Art durchgeführt werden. Weitere Hinweise auf Störungszonen können beispielsweise Mineralquellen (wie sie auf Föhr bekannt sind), Erzmineralisationen sowie anstehende Störungen im jungen Sediment sein.

5.2 Einflussfaktoren auf die Gaswegsamkeiten

Die Untersuchungen im Raum Koblenz und auf Amrum haben gezeigt, dass es mit der im Rahmen der vorliegenden Arbeit eingeführten Methode zur Messung von Geogas in der Bodenluft möglich ist, Störungszonen nachzuweisen, die Gaswegsamkeiten im Untergrund darstellen. Solche offenen Störungszonen deuten auf rezent aktive Störungssysteme oder auf Störungssysteme mit rezent offenen Bewegungsbahnen hin. Weit durchhaltende steilstehende offene Störungssysteme werden im UG Raum Koblenz in Zusammenhang mit Blattverschiebungssystemen gebracht. Die Kartierbefunde deuten auf rechtssinnige Blattverschiebungssysteme hin (vgl. Abbildung 4.13, S. 81). Durch die unregelmäßigen Oberflächen der Bewegungsbahnen entstehen Druckschattenbereiche, die offene Spalten hervorbringen und somit die Wegsamkeiten aus dem Untergrund schaffen. Wie die 24 *h* Messungen auf Amrum und im Raum Koblenz gezeigt haben, werden die Gaswegsamkeiten durch Erd- und Auflastgezeiten (Ozeangezeiten) beeinflusst (vgl. Kapitel 5.2.2). Diese Effekte

werden zusätzlich von weiteren Faktoren, wie z. B. von meteorologischen und lithologischen Faktoren überlagert (vgl. Kapitel 5.2.1). Auch Erdbeben können Gaswegsamkeiten in den Untergrund schaffen und diese durch die hervorgerufenen Bewegungen offen halten.

5.2.1 Einfluss meteorologischer und lithologischer Faktoren auf die Geogaskonzentrationen in der Bodenluft

Neben mittleren Hintergrundkonzentrationen von He , die im Bereich der Atmosphärenkonzentration von He lagen, wurden bei einigen Messungen Hintergrundkonzentrationen gemessen, die ober- oder unterhalb der He -Atmosphärenkonzentration von 5220 ppb lagen. Die Unterschiede in den Hintergrundkonzentrationen werden vor allem auf meteorologische und lithologische Faktoren zurückgeführt.

5.2.1.1 Meteorologische Faktoren

Untersuchungen von REIMER (1983), BALL *et al.* (1983), MCCARTHY & REIMER (1986), KLUSMAN & JAACKS (1987), SCHIFFER (1996), HINKLE (1994), REHS (1999) und ALTEVOGT *et al.* (2003) haben gezeigt, dass meteorologische Faktoren wie Niederschlag, Boden- und Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Windgeschwindigkeit die Konzentrationen verschiedener Geogase (z. B. He , CO_2 , Rn) beeinflussen können. Die Konzentration von He in der Bodenluft wird vor allem durch Niederschläge, Nebel- und Tauabsatz beeinflusst (HINKLE 1994). Länger anhaltende Niederschläge führen zu geringeren He -Konzentrationen in der Bodenluft gegenüber denen in der Atmosphärenluft, falls der Porenwassergehalt in der ungesättigten Zone (Bodenfeuchte) über 10 % ansteigt. Durch die Feuchtigkeit (Porenwasser) kommt es zur Lösung von He im Porenwasser oder zur Verdrängung des Gases durch Wasser (HINKLE 1994). Nebel und Tauabsatz haben nach HINKLE (1994) in etwa den gleichen Effekt wie lang anhaltende Niederschläge. Dass durch Nebel die He -Konzentration in der Bodenluft verringert werden kann, konnte mit der Messkampagne im Raum Koblenz im April 2007 bestätigt werden (vgl. Kapitel 4.1.4.1, Abbildung 4.18, S. 85). Bei dieser Messkampagne lag der Hintergrundwert der He -Konzentrationen in den Bodenluftproben um 30 ppb bzw. 0,5 % niedriger als die atmosphärische He -Konzentration.

Im Gegensatz zu längeren Regenereignissen führen kurzzeitige Starkregenereignisse nach längeren Trockenperioden zu einer Erhöhung der Geogaskonzentration in der Bodenluft (SCHIFFER 1996). Solche Starkregenereignisse führen zur Bildung einer Sickerwasserfront. Durch die Abwärtsbewegung der Front wird das Geogas aus dem Porenraum ausgepresst und steigt nach oben.

Die leicht erhöhten Hintergrundkonzentrationen in der Bodenluft bei der Testmessung im Raum Hünenfeld (vgl. Kapitel 4.1.4.1 und Abbildung 4.15) werden auf einsetzenden kräftigeren Regen nach einer Trockenperiode zurückgeführt.

Die Beeinflussung der Bodenluftkonzentrationen durch den Luftdruck wird kontrovers diskutiert. Nach HINKLE (1994) werden CO_2 -Konzentrationen stark vom Luftdruck beeinflusst, während He -, O_2 - und N_2 -Konzentrationen keine Beeinflussung durch den Luftdruck aufweisen. ALTEVOGT *et al.* (2003) weist dagegen auf eine Beeinflussung der Konzentrationen der Geogase in der Bodenluft (auch von He , O_2 und N_2) durch den Luftdruck hin. Da ein starker Luftdruckabfall meist mit starken Niederschlagsereignissen verbunden ist, ist es schwer, eine eindeutige Korrelation zwischen Luftdruck und Bodenluftkonzentrationen festzustellen. Eine Abhängigkeit der He -Konzentrationen vom Luftdruck konnte bei den im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten 24 h Messungen nicht beobachtet werden.

Eine Beeinflussung der Geogaskonzentrationen in der Bodenluft durch die Bodentemperatur kann nach SCHIFFER (1996) in unseren Breiten vernachlässigt werden, da bereits in geringer Tiefe die Bodentemperaturschwankungen sehr gering sind. Der Einfluss der Temperaturdifferenz zwischen Boden- und Lufttemperatur auf die Entgasung von Geogas wird ebenfalls von weiteren Effekten wie z. B. Bodenfeuchte und Niederschlagsereignissen überlagert und kann somit nicht eindeutig geklärt werden. Es ist jedoch bekannt, dass während trockenkalter Wintermonate die Rn -Exhalation aus dem Boden durch einen positiven Temperaturgradienten (warmer Boden zu kühler Atmosphäre) begünstigt wird. Untersuchungen von SCHIFFER (1996), HINKLE (1994) und ALTEVOGT *et al.* (2003) zeigen außerdem, dass die saisonale Beeinflussung durch meteorologische Faktoren signifikanter ist als die Beeinflussung innerhalb von Tagen mit ähnlichen meteorologischen Bedingungen. Daher ist es wichtig, die Probenkampagnen bei trockenen und stabilen Wetterlagen durchzuführen.

5.2.1.2 Lithologische Faktoren

Neben den meteorologischen Faktoren beeinflusst auch die Lithologie die Konzentrationen der verschiedenen geogenen Stoffe in der Bodenluft (GREGORY & DURANCE 1985, HINKLE 1990, ASHER-BOLINDER *et al.* 1990, HINKLE 1994 und SCHIFFER 1996). Hierbei sind vor allem der Porenanteil und die Möglichkeit, Wasser in den Poren zu speichern, von entscheidender Bedeutung. Im Porenwasser können Geogase gelöst werden und zu einer Verringerung ihrer Konzentration in der Bodenluft führen. In sandigen Böden ist die Permeabilität höher als in tonigen Böden. Daher kann in sandigen Böden atmosphärische Luft oberflächennah (bis 5 cm Tiefe) leichter in den Boden eindringen und die Konzentration von He herabsetzen. Bei einer Probenahmetiefe von ca. 1 m kann dieser Effekt jedoch vernachlässigt werden. Der hohe Porenraumanteil im Sand ermöglicht außerdem ein schnelleres Abfließen von Wasser, so dass die Beeinflussung der Geogaskonzentrationen durch Bodenfeuchte geringer ist als die in tonigen Böden, in denen Wasser gut gespeichert werden kann.

In tonigen Böden kann es wegen der geringeren Permeabilität zur Erhöhung der Konzentrationen der hochmobilen Edelgase kommen. Die erhöhten He -Hintergrundkonzentrationen während der

24 h Messung im UG Koblenz in Standort 2 (vgl. Kapitel 4.1.4.2, Abbildung 4.19, S. 87) deuten auf die Beeinflussung der Geogaskonzentrationen in der Bodenluft durch den stark tonigen Boden hin. Da der Austausch der Bodenluft mit der Atmosphäre in Böden mit geringer Permeabilität gehemmt wird, kommt es andererseits zur Verringerung von N_2 und O_2 . Ab welcher He -Konzentration in der Bodenluft von einer Anomalie gesprochen werden kann, muss für jedes Untersuchungsgebiet definiert werden.

5.2.2 Einfluss der Gezeitenkräfte auf die Heliumkonzentrationen in der Bodenluft

5.2.2.1 Gezeitenkräfte

Die Gezeiten auf der Erde werden durch die Gezeitenkräfte hervorgerufen. Dabei kann die Entstehung der Gezeitenkräfte auf den Umlauf um die Massenmittelpunkte von Mond und Erde, von Sonne und Erde sowie Erde und Planeten zurückgeführt werden. Innerhalb der Erde erfährt jeder Massenpunkt die gleiche Bahnbeschleunigung nach Betrag und Richtung (vgl. Abbildung 5.2). Gleichzeitig erfährt er eine gravitative Beschleunigung, die durch die Wechselwirkung zwischen Erde und Himmelskörper H_i hervorgerufen wird. Durch die Gezeitenbeschleunigung kommt es zu Veränderungen der Schwerkraft (Änderung der Schwerebeschleunigung) auf der Erde. Die Gezeitenbeschleunigung $\vec{b}(P)$ im Beobachtungspunkt P lässt sich nach dem NEWTONschen Gravitationsgesetz mit der Formel

$$\vec{b}(P) = \vec{a}_p - \vec{a}_0 = \frac{Gm_{H_i}}{(r_{EH_i} - r_E)^2} \cdot \frac{\vec{r}_{EH_i} - \vec{r}_E}{r_{EH_i} - r_E} - \frac{Gm_{H_i}}{r_{EH_i}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{EH_i}}{r_{EH_i}} \quad (5.1)$$

berechnen, wobei G die NEWTONsche Gravitationskonstante, m_{H_i} die Masse des Himmelskörpers H_i , r_E der Abstand des Beobachtungspunktes P zum Geozentrum, r_{EH_i} der Abstand vom Erdmittelpunkt bis zum Mittelpunkt des Himmelskörpers H_i , \vec{a}_p die Gravitationsbeschleunigung des Himmelskörpers H_i in P und \vec{a}_0 die Beschleunigung des Massenmittelpunktes der Erde infolge der Gravitationswirkung des Himmelskörpers H_i ist.

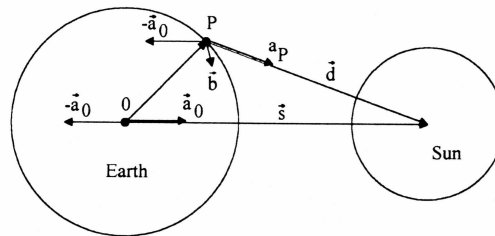


Abbildung 5.2: Die vektorielle Zusammensetzung der Gezeitenbeschleunigung für das System Erde-Sonne (nach WENZEL 1997).

Im Folgenden sind die nach Gleichung (5.1) berechneten maximalen Gezeitenbeschleunigungen auf der Erde angegeben (WENZEL 1997):

- Erde-Mond: $1,37 \cdot 10^{-06} \text{ m/s}^2$
- Erde-Sonne: $0,50 \cdot 10^{-06} \text{ m/s}^2$
- Erde-Merkur: $3,64 \cdot 10^{-13} \text{ m/s}^2$
- Erde-Venus: $5,88 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}^2$
- Erde-Mars: $1,18 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}^2$
- Erde-Jupiter: $6,54 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}^2$
- Erde-Saturn: $2,36 \cdot 10^{-13} \text{ m/s}^2$
- Erde-Uranus: $3,67 \cdot 10^{-15} \text{ m/s}^2$
- Erde-Neptun: $1,06 \cdot 10^{-15} \text{ m/s}^2$

Dabei ist die Gezeitenbeschleunigung durch den Mond mehr also doppelt so groß wie die durch die Sonne und beide sind mindestens 600 mal größer als die Gezeitenbeschleunigungen durch die einzelnen Planeten.

In Abbildung 5.3 ist die Verteilung der Gezeitenkräfte des Systems Erde-Mond dargestellt. Die größte resultierende Gezeitenwirkung tritt dabei längs der Linie Erdmittelpunkt-Mond auf. Dies gilt auch für die Systeme Erde-Sonne und Erde-Planet. Die Größe der Gezeitenwirkung hängt von der Lage des Beobachtungsortes, von der Entfernung zum Erdmittelpunkt und dem Winkel zur Linie der größten Gezeitenwirkung ab.

Das Gezeitenpotential $U^{tid(H_i)}(\lambda, \varphi, r_E)$ der Gezeitenbeschleunigung lässt sich mit der Gleichung

$$U^{tid(H_i)}(\lambda, \varphi, r_E) = \frac{Gm_{H_i}}{r_{EH_i}} \sum_{\ell=2}^{\infty} \left(\frac{r_E}{r_{EH_i}} \right)^{\ell} P_{\ell}(\cos \psi) \quad (5.2)$$

berechnen, wobei $P_{\ell}(\cos \psi)$, $\ell \geq 0$, die LEGENDRESchen Polynome sind und ψ der Raumwinkel (die geozentrische Zenitdistanz), d. h. der Winkel zwischen den Strecken Geozentrum-Himmelskörper und Geozentrum-Beobachtungspunkt. Der Raumwinkel kann durch die sphärischen Koordinaten des Punktes $P(\lambda, \varphi, r_E)$ und die Koordinaten des Massenschwerpunktes des Himmelskörpers $H_i(\lambda, \varphi, r_E)$ ausgedrückt werden. Dabei ist λ die Länge und φ die Breite des entsprechenden Punktes.

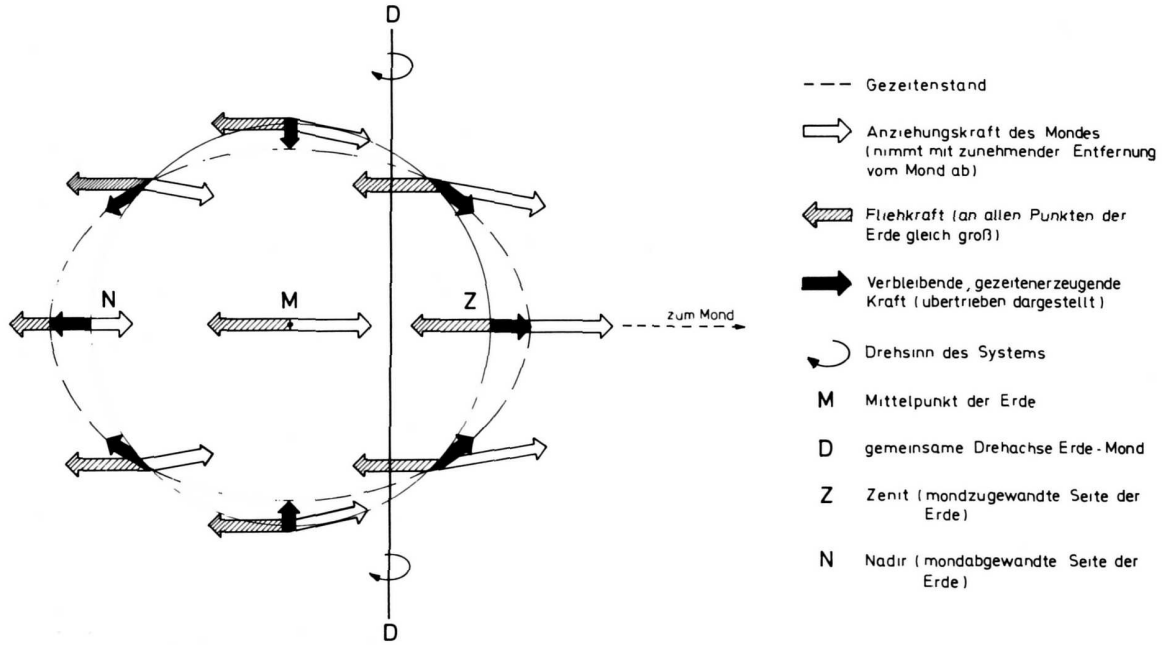


Abbildung 5.3: Die gezeiterzeugenden Kräfte am Beispiel des Mondes (KRUG 1997).

Mit Hilfe des sphärischen Kosinussatzes und durch Zerlegung der LEGENDRESchen Polynome in normierte Kugelfunktionen lässt sich Gleichung (5.2) durch

$$U^{tid(H_i)}(\lambda, \varphi, r_E) = \frac{Gm_{H_i}}{r_{EH_i}} \sum_{\ell=2}^{\infty} \sum_{m=0}^{\ell} \left(\frac{r_E}{r_{EH_i}} \right)^{\ell} \frac{1}{2\ell+1} \bar{P}_{\ell,m}(\sin \delta_{H_i}) \bar{P}_{\ell,m}(\sin \varphi) \cos m(H_{H_i}) \quad (5.3)$$

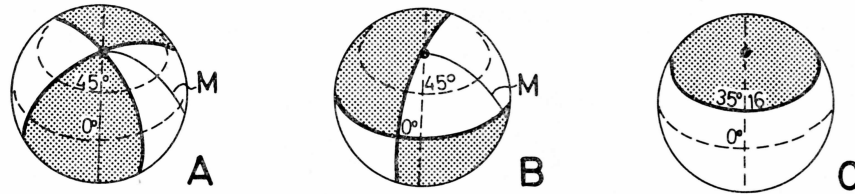
ausdrücken. Dabei ist δ_{H_i} die Deklination des Himmelskörpers H_i und $H_{H_i} = \lambda - \lambda_{H_i}$ der Stundenwinkel des Himmelskörpers.

In Gleichung (5.3) bewirkt der Term $\left(\frac{r_E}{r_{EH_i}} \right)^{\ell}$, dass die Reihenentwicklung schnell konvergiert. Der Grad $\ell = 2$ liefert dabei den größten Beitrag zum Gezeitenpotential. Daher ist es ausreichend, die Reihe für den Mond bis zum Grad $\ell = 3$, für die Sonne und weitere Himmelskörper bis zum Grad $\ell = 2$ zu entwickeln. Wird Gleichung (5.3) auf Glieder des zweiten Grades beschränkt, dann folgt

$$U_2^{tid(H_i)}(\lambda, \varphi, r_E) = Gm_{H_i} \frac{r_E^2}{r_{EH_i}^3} \frac{1}{5} \cdot \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned}
 & \{ \bar{P}_{20}(\sin \varphi) \bar{P}_{20}(\sin \delta_{H_i}) && [ZONAL] \\
 & + \bar{P}_{21}(\sin \varphi) \bar{P}_{21}(\sin \delta_{H_i}) \cos(H_{H_i}) && [TESSERAL] \\
 & + \bar{P}_{22}(\sin \varphi) \bar{P}_{22}(\sin \delta_{H_i}) \cos 2(H_{H_i}) \} && [SEKTORIELL]
 \end{aligned}$$

Nach Gleichung (5.4) lassen sich sektorielle, tesserale und zonale Gezeiten unterscheiden (vgl. Abbildung 5.4). Dabei bedeutet:



M: Meridian des anziehenden Gestirns.

Abbildung 5.4: Die Gezeitenwirkung nach der Kugelflächenfunktion (nach MELICHIOR 1968).

- A) sektoriell: Halbtägige Gezeit mit dem Maximum am Äquator, wenn die Deklination des gezeitenerzeugenden Himmelskörpers Null ist.
- B) tesseral: Ganztägige Gezeit, mit dem Maximum für eine Breite von 45° vom Äquator. Am Äquator und an den Polen ist die Amplitude immer Null.
- C) zonal: Gezeit, die 14-tägig für den Mond und 6-monatlich für die Sonne auftritt. Die Amplitude wird an den im Abstand von $\pm 35^\circ 16'$ zum Äquator liegenden Parallelkreise Null.

Mit Gleichung (5.3) ist eine Trennung von ortsabhängigen Termen einerseits und zeitabhängigen Termen andererseits möglich (WENZEL 1997). Die Zeitabhängigkeit wird durch die Änderung des Abstandes des Himmelskörpers bezüglich der Erde sowie der Änderung der Position des Himmelskörpers bezüglich der Erde hervorgerufen. Damit sind die Koordinaten des Himmelskörpers die zeitabhängigen Parameter, d. h. $r_{EH_i} = r_{EH_i}(t)$, $\lambda_{H_i} = \lambda_{H_i}(t)$ und $\varphi_{H_i} = \varphi_{H_i}(t)$. Da die Zeitabhängigkeit der Koordinaten der Himmelskörper bezüglich der rotierenden Erde sehr kompliziert ist, wird die Zeitabhängigkeit in Form von zeitlichen Änderungen der Bahnelemente der Himmelskörper ausgedrückt. In Tabelle 5.1 sind einige Bahnelemente zur Berechnung des Gezeitenpotentials dargestellt. Dabei beziehen sich alle Längen auf das Frühlingsäquinoktium.

Aus den in Tabelle 5.1 aufgeführten Variablen lassen sich die Tidenwellen (Tiden) der Erdgezeiten für jeden Beobachtungsort berechnen. Eine erweiterte Übersicht der Tiden ist in BARTELS (1957) dargestellt. Die Tabelle 5.2 gibt einen kurzen Überblick über die von WENZEL (1997) dargestellten wichtigsten Tiden für den Beobachtungspunkt Schiltach ($48,3^\circ$ N).

Da die Erde auf einer elliptischen Bahn um die Sonne und der Mond auf einer elliptischen Bahn um die Erde kreist, weisen die Gezeitenkräfte neben den täglichen und monatlichen Schwankungen (vgl. Abbildung 5.5) auch eine jährliche Schwankung auf. Durch die Präzession und Nutation der Rotationsachse werden Breitenschwankungen hervorgerufen. Da die Gezeitenkräfte der Beob-

Tabelle 5.1: Periodizitäten der zur Berechnung der Gezeitenbeschleunigung genutzten Variablen (nach BARTELS 1957). Die Länge der Perioden entspricht dabei Erdentagen bzw. Erdenjahren.

Variable	Periode	Erläuterung
τ	1,035 d	Mittlere lokale Mondzeit
s	27,321582 d	Mittlere Länge des Mondes (Tropischer Monat)
s	1 d	Lokale Sonnenzeit
s	27,321582 d	Tropischer Monat
h	356,242199 d	Mittlere Länge der Sonne (Tropisches Jahr)
p	8,847 a	Mittlere Länge des Mondperigäums
p_s	20940 a	Mittlere Länge des Sonnenperigäums
N'	18,613 a	Mittlere Länge des aufsteigenden Knoten des Mondes (Nutation)
L_{Mer}	88 d	Mittlere Länge des Merkurs
L_{Ven}	225 d	Mittlere Länge der Venus
L_{Mar}	687 d	Mittlere Länge des Mars
L_{Jup}	11,86 a	Mittlere Länge des Jupiters
L_{Sat}	29,42 a	Mittlere Länge des Saturns

Tabelle 5.2: Überblick über die wichtigsten kurzperiodischen Tiden am Beobachtungspunkt Schil-
tach ($48,3^\circ N$) für eine starre Erde (aus WENZEL 1997).

Name	l	m	Periode [d]	Auslöser Mond=M Sonne=S	Potential [m^2/s^2]	Deformationsrate [mm]	Beschleunigung [nm/s^2]
M_m	2	0	27,554	M	0,072	7	23
M_f	2	0	13,660	M	0,136	14	43
Q_1	2	1	1,1195	M	0,188	19	59
O_1	2	1	1,0758	M	0,983	100	309
M_1	2	1	1,0347	M	0,077	8	24
P_1	2	1	1,0027	S	0,457	47	144
S_1	2	1	1,0000	S	0,0111	1	3
K_1	2	1	0,9973	M+S	1,382	141	434
J_1	2	1	0,9624	M	0,077	8	24
OO_1	2	1	0,9294	M	0,042	4	13
$2N$	2	2	0,53777	M	0,027	3	8
N_2	2	2	0,5274	M	0,203	21	64
M_2	2	2	0,5175	M	1,061	108	332
L_2	2	2	0,5080	M	0,030	3	9
S_2	2	2	0,5000	S	0,494	50	154
K_2	2	2	0,4986	M+S	0,134	15	42
M_3	3	3	0,3450	M	0,009	1	4

achtungsorte von der Breite zur Ekliptikebene abhängen, rufen Breitenschwankungen eine Veränderung der Gezeitenkräfte hervor. Ein voller Umlauf der Erdachse beträgt 25780 a . Die durch die Nutation hervorgerufene Hauptperiode beträgt etwa 18,61 a . Hinzu kommen weitere periodische Beeinflussungen, die durch sich ändernde Konstellationen von Erde, Mond und Sonne hervorgerufen werden. Diese Periodizitäten sind bei BARTELS (1957) aufgeführt. Aus der Gesamtheit der Tiden lässt sich somit das Potential der Gezeitenkräfte und damit die Gezeitenbeschleunigung berechnen. Die Gezeitenkräfte führen zur Deformation des Erdkörpers (Erdkörpergezeit), zu

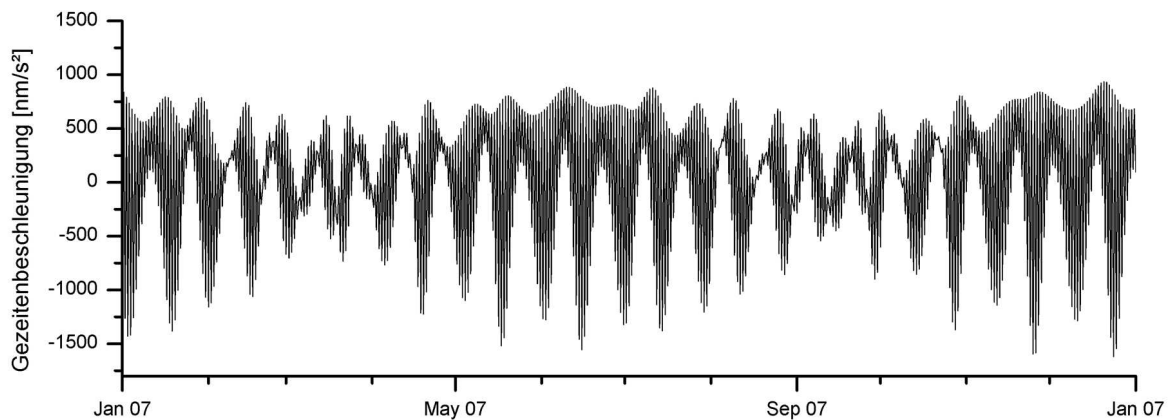


Abbildung 5.5: Variation der theoretischen Gezeitenbeschleunigung im Bereich Hünefeld für das Jahr 2007, berechnet mit der Software T-Soft.

Umlagerung der Wassermassen (Ozeangezeit), zu Luftmassenbewegungen (Atmosphärengzeit), zu Änderungen der Orientierung der Erde im Weltraum (Nutation) und zu einer Änderung der Erdrotationsgeschwindigkeiten (WAHR 1981).

5.2.2.2 Gezeiten

Wäre die Erde ein homogener starrer Körper (idealer Körper) mit einer Wasserhülle, die nicht auf die Gezeitenkräfte reagieren würde, würde eine Deformation des rotierenden Erdkörpers (Erdkörpergezeit) resultieren, die vom Beobachtungspunkt auf der Erde abhängig ist. Doch die Erde lässt sich nicht in dieses Modell pressen, da z. B. auch die Ozeane auf die Gezeitenkräfte reagieren.

Die Wassermassen der Erde reagieren auf die Gezeitenkräfte mit Umlagerungen (Ozeangezeit). Auch die atmosphärische Hülle wird durch die Gezeitenkräfte deformiert und reagiert mit atmosphärischer Gezeit (Atmosphärengzeit). Dies führt zu sehr leichten Druckschwankungen in der Atmosphäre. Die einzelnen Gezeiten überlagern sich zur Erdgezeit. Die Ozean- und Atmosphärengezeit werden aufgrund ihrer indirekten Wirkung (Auflast) auf den Erdkörper als Auflastgezeiten bezeichnet (FARRELL 1972). Dabei ist der Anteil der Ozeangezeit an der Auflastgezeit sehr viel höher als der der Atmosphärengzeit (LAMBECK 1980). Der durch die Gezeitenkräfte hervorgerufene theoretische maximale Gezeitenhub bei Springkonstellation für einen idealen Erdkörper mit einer gleichmächtigen Wasserhülle beträgt nach SCHICK & SCHNEIDER (1973) 78 cm.

Da die Erde kein starrer Körper ist, sondern aufgrund der rheologischen Eigenschaften des Erdkörpers z. T. elastisch reagiert, wird die Auswirkung der Gezeiten durch Inhomogenitäten des geologischen Aufbaus, Brüchen in der Erdkruste, der Morphologie und den atmosphärischen Druck abgeschwächt oder verstärkt (WAHR 1981).

Da sich die Rotationsgeschwindigkeiten von Erde und Mond unterscheiden, bildet sich der Gezei-

tenberg der nicht vollkommen starren Erde (elastische Deformation) mit einer Phasenverschiebung von Δt aus (LAMBECK 1980) (vgl. Abbildung 5.6).

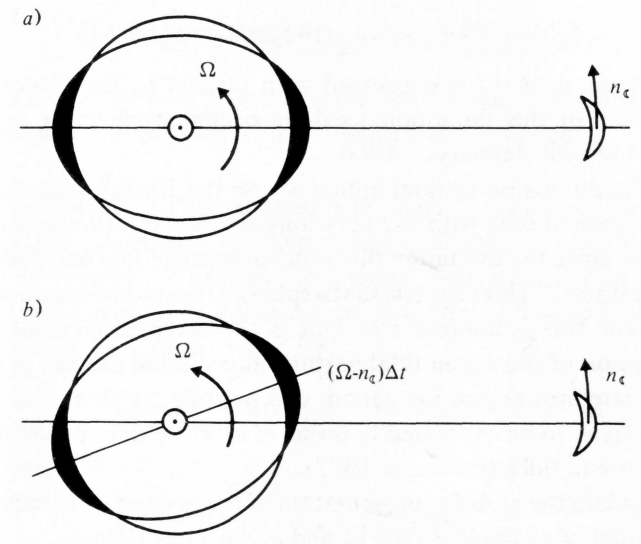


Abbildung 5.6: Ausbildung des Gezeitenberges bei einer starren Erde (a)) und Verschiebung des Gezeitenberges aufgrund der elastischen Eigenschaften der Erde (b)) (aus LAMBECK 1980).

Aufgrund der höheren Rotationsgeschwindigkeit der Erde im Vergleich zu der des Mondes läuft der Gezeitenberg scheinbar dem Mond voraus und erscheint einem Beobachter verfrüht (VOIT 1950). Die Abweichung von der Position des Gezeitenberges einer idealen Erde beträgt nur $0,1^\circ$ bis $0,6^\circ$ (LAMBECK 1980). Dies entspricht einer Zeitspanne von etwa $0,5 \text{ min}$ bis $2,5 \text{ min}$. Da diese Abweichung sehr gering ist, ist sie für die Betrachtung der Entgasungsprozesse vernachlässigbar.

Wegen des inhomogenen Aufbaus der Erde muss die Gezeitengleichung ((5.3), S. 103) zur Berechnung der realen Gezeitenkräfte durch die dimensionslosen Konstanten h, k und l (LOVSCHE Zahlen) erweitert werden. Durch diese Konstanten werden äußere Einflussfaktoren wie z. B. Druck- und Dehnungsverhalten von Gesteinen, Versatzerscheinungen und zusätzliche Kräfte (z. B. Auflastgezeiten) mit in die Berechnung der Erdgezeit einbezogen.

Eine Unterscheidung zwischen Auflast- und Erdkörpergezeiten stellt sich als schwierig dar, wobei die Ozeangezeit durch Ebbe und Flut am deutlichsten sichtbar ist (FARRELL 1972). Durch sie entsteht die Ozeangezeitenauflast, durch die eine zusätzliche Deformation der Erdkruste durch die ständige Umlagerung der Wassermassen hervorgerufen wird. Im Gegensatz zur relativ geringen Variation der Erdkörpergezeit variiert der Tidenhub der Ozeangezeit aufgrund der Beeinflussung durch den Küstenverlauf. Diese Beeinflussung bewirkt, dass sich die Ozeangezeiten kreisförmig um amphidrome Punkte ausbreiten. Im amphidromen Punkt selbst kommt kein Gezeitenhub zustande. Mit zunehmender Entfernung von diesem Punkt steigt der Tidenhub. Im deutschen

Nordseeraum liegt der mittlere Tidenhub mit 1,5 m bis 3 m deutlich über dem durchschnittlichen theoretischen Tidenhub von 0,5 m (LAMBECK 1980). Des Weiteren beeinflussen meteorologische Faktoren die Stärke der Ozeangezeiten. Im Bereich der Ostfriesischen Inseln fällt z. B. das Hochwasser bei starkem Ostwind niedriger aus als berechnet, da der Wind das von Westen auflaufende Wasser zurückdrängt. Durch die Trägheit der Wassermassen kommt es auch bei den Ozeangezeiten zu einer Phasenverschiebung. Die Spring- oder Nippflut läuft im Nordseeraum zur Spring- (Voll- oder Neumond) oder Nippkonstellation (Halbmond) mit einer Verspätung von knapp drei Tagen auf (KRUG 1997).

Die durch die Ozeangezeiten entstehenden Kräfte werden nach FARRELL (1972) in Küstengebieten zu 90 % durch die Deformation der Erdkruste abgebaut. Auch nach ZSCHAU (1978) ist die durch die Gezeiten hervorgerufene Deformation der Erdkruste zum größten Teil auf die Auflastgezeit zurückzuführen, während die Erdkörpergezeitenkräfte überwiegend im Erdmantel abgebaut werden. Nach NISHIMURA (1950) beeinflussen die Auflastkräfte der Ozeangezeiten die Erdkörpergezeiten und die Deformation der Erdkruste bis weit ins Landesinnere. NISHIMURA (1950) stellte eine minimale Ozeangezeitenbeeinflussung in der Erdgezeitkurve fest, die in 4000 km Entfernung vom Ozean aufgenommen wurde.

5.2.2.3 Auswirkung der Gezeiten auf die Entgasungsprozesse aus dem Untergrund

Durch die Gezeiten werden sich ständig ändernde Spannungszustände im Erdinneren aufgebaut. Dadurch wird das Gestein periodisch gedehnt und komprimiert. Untersuchungen zum Deformationsverhalten von Tunneln konnten die Deformationskräfte der Erdgezeiten im Festgestein nachweisen (HARRISON 1976). Durch Dehnung kommt es neben den Spannungszustandsänderungen in den Gesteinen zu Änderungen der Grundwasserspiegelhöhen (KÜMPEL 1992, JENTZSCH 1997 und SENITZ 2001). Bei gespannten Verhältnissen können diese Änderungen mehrere Zentimeter betragen (MELCHIOR 1983). Beispielsweise konnte in einem Brunnen in Zaire eine Amplitude von 7,53 cm gemessen werden (MELCHIOR 1983 und HARRISON 1985).

Durch die Auflast der Ozeangezeiten wird der Untergrund zusätzlich deformiert und verstellt. In einem Gebiet mit deutlichen Inhomogenitäten der Lithologie kann der Untergrund in Schollen unterteilt werden, die durch unterschiedlich starke Hebung oder Senkung auf die Gezeitenkräfte reagieren (HARRISON 1985). In Bereichen mit Brüchen können sich die einzelnen Schollen durch die Auflastgezeiten gegeneinander verstellen und Gaswegsamkeiten entlang von Brüchen verändern.

Diese Effekte wirken sich auf weniger große Störungssysteme stärker aus als auf dominante überregionale Störungssysteme wie z. B. die San Andreas Fault in den USA (*He*-Konzentrationen von bis zu 430 ppm) (JONES & DROZD 1983). Im Gegensatz zu solchen über zehner bis hunder-

te Kilometer durchhaltenden und kilometerbreiten Störungszonen handelt es sich im UG Raum Koblenz um ein Störungssystem, dessen Störungszonen wenige bis zehner Meter breit und oft nur wenige hundert Meter zu verfolgen sind. In solchen räumlich begrenzten Störungszonen gibt es weniger und vermutlich engere Aufstiegswege für die Geogase im gestörten Untergrund als in den überregionalen Störungszonen. Daher haben leichte Veränderungen der Aufstiegswege in eng begrenzten Störungszonen größere Auswirkungen auf den Gasfluss aus dem Untergrund. Gaswegsamkeiten im Untergrund reagieren hier stärker auf die sich ständig ändernden Spannungs- und Deformationszustände. So können sich die Öffnungsweiten von Rissen über die Zeit vergrößern, verringern oder sogar schließen. Dann kommt es zur Verringerung des Gasflusses und einem Ansammeln von Geogas im Untergrund. Erst bei erneuter Weitung der Gaswegsamkeiten stellt sich nach einer kurzzeitig erhöhten Gasflussrate, wie sie z. B. an *He*-Peaks bei den 24 h Messungen festgemacht werden konnte, eine „normale“ Gasflussrate ein. Auch Sekundärererscheinungen wie Wasserstandsänderungen des Grundwassers, der Ozeane oder in Seen beeinflussen die Druckverhältnisse im Untergrund. Durch die Gezeitenkräfte, die in der tieferen Kruste oder sogar im Mantel wirken, können Lösungsgleichgewichte von gelösten Volatilen gestört werden und spontan Gase freigesetzt werden. Dies führt zu temporären Gasflusserhöhungen aus dem Untergrund. Da die Untersuchungsgebiete von Störungen durchzogen sind, können die Gezeiten einzelne Schollen gegeneinander verstellen und Aufstiegswege entlang der gaspermeablen Störungen verändern.

Nach Untersuchungen von HEATON (1975) gibt es Anzeichen dafür, dass Beben (Herdteufen $< 30 \text{ km}$) mit Magnituden von mehr als 5 an Störungen mit ab- oder aufschiebenden Charakter von Gezeitenkräften getriggert werden. Für Blattverschiebungen und tiefere Erdbeben konnte HEATON (1975) keine Korrelation zu den Gezeiten feststellen. Jüngere Untersuchungen von COCHRAN *et al.* (2004) bestätigen einen Zusammenhang zwischen Erdbebenereignissen im Bereich flacher Überschiebungen und Gezeiten. Auch TANAKA *et al.* (2005) und MORGOUNOV *et al.* (2005) sehen Zusammenhänge zwischen Erdbeben und Erdgezeiten. FISCHER *et al.* (2006) sehen für das Vogtland nur einen schwachen Zusammenhang zwischen Gezeiten und Schwarmbebenaktivität.

5.2.3 Störungssysteme als dynamische Systeme

Die oben dargestellten Einflüsse führen zu dem Ergebnis, dass es sich bei den Entgasungsprozessen in Störungszonen um dynamische Prozesse handelt. Die im Juni 2007 bei Plaidt festgestellten Variationen der *He*-Konzentration innerhalb eines Zeitraums von wenigen Minuten unterstützt diese Annahme. Auch die zwischen den Hoch- und Niedrigwasser auftretenden *He*-Anomalien im UG Amrum bekräftigen diese Aussage. Für jedes Untersuchungsgebiet muss daher das spezifische System mit Hilfe von Dauermessungen untersucht werden. Damit können Schwankungsbreiten und Periodizitäten der *He*-Konzentrationen über Störungszonen festgestellt werden. Dies

ist vor allem in Gebieten, in denen *He*-Anomalien über Störungszonen gering ausfallen (z. B. UG Raum Koblenz) wichtig, da der Zeitpunkt der Probenahme darüber entscheiden kann, ob eine Störung anhand von Bodenluftmessungen erkannt wird oder nicht. Deshalb sollten zusätzlich zur Bodenluftanalyse auch weitere Untersuchungen (z. B. Kartierung von Quarzgängen und Mineralisationen) durchgeführt werden, wie dies für das UG Raum Koblenz aufgezeigt wurde.

5.3 Ausblick

Die dargelegten Ergebnisse können als Erfolg angesehen werden, wobei sich während der Arbeit neue Fragestellungen ergeben haben. Darüber hinaus sind weitere Ergebnisse gefordert, um aufgetretene Probleme zu lösen:

- Eine Überarbeitung der Bodenluftsonden und kleine Änderungen am Analysesystem müssen vorgenommen werden.

Die Sonden müssen so umgearbeitet werden, dass sie deutlich stabiler werden und mit möglichst geringem Verschleiß in Gebieten unterschiedlichster geologischer Gegebenheiten einsetzbar sind.

Eine Überarbeitung des Probeneinlasses wird gefordert, um bedienerbedingte Abweichungen der Messwerte bei Proben gleicher Konzentrationen zu vermeiden.

- Ist das gefundene postvariscische Störungssystem flächendeckend nachzuweisen und ist es auf das Rheinische Schiefergebirge beschränkt?

Im Rahmen der Arbeit konnten neue Erkenntnisse über das Störungssystem im Rheinischen Schiefergebirge gewonnen werden. Diese Ergebnisse müssen um großräumige Untersuchungen im und außerhalb des Schiefergebirges erweitert werden, um das von SCHREIBER & ROTSCH (1998) postulierte Störungssystem flächendeckend nachzuweisen.

- Sind auch variscische gaspermeable Störungszonen im Untersuchungsgebiet zu finden?
Flächendeckende Bodenluftprofile können Aufschluss darüber geben, ob vereinzelte variscische Störungen reaktiviert wurden und offen geblieben sind.

- Wie können dynamische Prozesse den Gasfluss über die Zeit beeinflussen und sind diese bei der Auswertung zu berücksichtigen?

Um die Dynamik der Gasflüsse aus dem Untergrund besser verstehen zu können, ist es hilfreich, in einem tektonisch sehr aktiven und durch Gasaustritte und Mofetten gekennzeichneten Gebiet die Gasflussvariationen mit Hilfe von Langzeitmessungen zu untersuchen. Damit können Periodizitäten besser gefasst und Messdaten zuverlässiger interpretiert werden.

- Sind im Gelände neben geologischen Hinweisen weitere Hinweise auf gaspermeable Zonen aus dem Untergrund zu finden?

Da sich eine überdeckte Störungszone anhand von Messungen der Bodenluft nicht immer eindeutig nachweisen lässt und es Gebiete gibt, in denen die geologischen Gegebenheiten keine weiteren Hinweise auf Störungszonen im Untergrund liefern, können neue Methoden helfen, überdeckte Störungszonen zu finden. Untersuchungen zur Identifikation von Störungen anhand biologischer Indikatoren werden bereits an der Universität Duisburg-Essen durchgeführt.

6 Zusammenfassung

Die Erfassung rezent aktiver Störungen ist vor allem in Bereichen dichter Besiedlung, insbesondere bei der Planung risikobehafteter Bauwerke wie Chemieanlagen oder Brücken zur Risikoeinschätzung sehr wertvoll. Dabei sind überregionale, tektonisch aktive Störungszonen gut zu erfassen. Doch in Gebieten, in denen die Störungszonen nicht so dominant und von Lockersedimenten überdeckt sind, ist es schwierig, die Störungszonen aufzufinden. Entgasungen entlang solcher tief in die Erdkruste reichender gaspermeabler Brüche können in diesem Fall Hinweise auf rezent aktive Störungszonen geben. Durch die Analyse der Bodenluft auf Geogase wie z. B. Helium ist es möglich, gaspermeable Störungszonen zu detektieren.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein Analysesystem zur Messung von Helium in der Bodenluft im Fachgebiet Geologie des Instituts für Geografie der Universität Duisburg-Essen eingeführt und weiterentwickelt. Mit dem zur Analyse genutzten modifizierten Lecksuchgerät konnten Heliumkonzentrationen in Bodenluftproben mittels Massenspektrometrie bestimmt werden. Diese Methode wurde neben klassischen geologischen Untersuchungsmethoden (Kartierungsarbeiten) genutzt, um gaspermeable Zonen im Raum Koblenz zu detektieren. Dabei sollte das von SCHREIBER & ROTSCH (1998) postulierte junge Störungssystem untersucht werden. Bei den Kartierarbeiten gaben z. B. charakteristische Vererzungen sowie Quarzmineralisationen erste Hinweise auf das junge Störungssystem. Typisch für dieses System sind Störungszonen mit einem Streichen von $\approx 30^\circ$, $\approx 110^\circ$ sowie $\approx 160^\circ$.

Um den Verlauf der Störungen in Bereichen geringmächtiger Sediment- und Bodenüberdeckung zu verfolgen, wurden die Heliumkonzentrationen in der Bodenluft entlang von Profilen bestimmt. Dabei konnte in einem Testgebiet bei Hünenfeld der Verlauf einer 110° verlaufenden und einer 30° verlaufenden Störung verfolgt werden und somit das junge Störungssystem für dieses Gebiet bestätigt werden.

In einem Referenzgebiet auf der Nordseeinsel Amrum sollte geprüft werden, ob das im Hunsrück erfolgreich getestete Verfahren zur Detektierung von Störungen anhand erhöhter Heliumkonzentrationen in der Bodenluft in einem Gebiet mit mächtiger Lockersedimentbedeckung einsetzbar ist. Mit Hilfe der Analyse von Bodenluftproben entlang mehrerer Profile sollte eine im Bereich von Amrum verlaufende Störung erfasst werden. Dieses Störungssystem konnte nicht eindeutig erfasst werden. Es zeigte sich jedoch, dass die Heliumkonzentrationen über die Zeit sehr stark variieren. 24 h Messungen belegen einen Zusammenhang zwischen Ozeangezeit und Schwankungen der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft. Die Daten der 24 h Messung im Raum Koblenz

zeigen ebenfalls einen schwachen Zusammenhang zwischen Gezeitenverlauf und Variationen der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft.

Es hat sich gezeigt, dass sich Gaswegsamkeiten innerhalb von Störungszonen sehr dynamisch verhalten. Für jedes Untersuchungsgebiet muss daher das spezifische System mit Hilfe von Dauermessungen untersucht werden, um Schwankungsbreiten und Periodizitäten der Heliumkonzentrationen in der Bodenluft über Störungszonen aufzunehmen. Dies ist vor allem in Gebieten unauffälliger Störungszonen wichtig, da der Zeitpunkt der Probenahme darüber entscheiden kann, ob eine Störung anhand von Bodenluftmessungen erkannt wird oder nicht.

Literaturverzeichnis

- AHORNER, L. (1975): Present-day stress field and seismotectonic block movements along major fault zones in Central Europe: *Tectonophysics*, **29**: 233–249.
- AHORNER, L. (1983): *Plateau Uplift*, Kap. Historical seismicity and presentday microearthquake activity in the Rhenish Massif, Central Europe, 198–221, Springer.
- ALTEVOGT, A. S., ROLSTON, D. E. & VENTEREA, R. T. (2003): Density and pressure effects on the transport of gas phase chemicals in unsaturated porous media: *Water Resour. Res.*, **39** (3): 1061, doi: 10.1029/2002WR001338.
- ASHER-BOLINDER, S., OWEN, D. E. & SCHUMANN, R. R. (1990): Pedologic and climatic controls on RN-222 concentrations in soil gas, Denver, Colorado: *Geophys. Res. Lett.*, **17**: 825–828.
- BABUŠKA, V. & PLOMEROVÁ, J. (2004): The Sorgenfrei-Tornquist Zone as the mantle edge of Baltica lithosphere: new evidence from three-dimensional seismic anisotropy: *Terra Nova*, **16**: 243–249.
- BALDSCHUHN, R., BINOT, F., FLEIG, S. & KOCKEL, F. (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor - Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie: *Geol. Jb.*, **A 153**: 1–88.
- BALDSCHUHN, R., FRISCH, U. & KOCKEL, F. (1996): Geotektonischer Atlas von NW-Deutschland 1:300 000: *Geol. Mijnbouw*, **76**: 375–375, doi: 10.1023/A:1003180913631.
- BALL, T., NICHOLSON, R. A. & PEACHEY, D. (1983): Effects of meteorological variables on certain soil gases used to detect buried ore deposits: *Trans. Inst. Min. Metall. Transact. Sec.*, **B 92**: 183–190.
- BARTELS, J. (1957): *Handbuch der Physik*, Bd. 48, Kap. Gezeitenkräfte, 734–774, Springer.
- BBODSCHG (1998): Bundesbodenschutzgesetz - Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten: *Bundesgesetzblatt 1998 Teil 1*, **Nr. 16**: 502–510.
- BEHR, H. J., GERLER, J., HEIN, U. F. & REUTEL, C. J. (1993): Tectonic Brines und Basement Brines in den mitteleuropäischen Varisziden: Herkunft, metallogenetische Bedeutung und geologische Aktivität: *Göttinger Arb. Geol. Paläont.*, **58**: 3–28.

- BEHR, H. J. & HORN, E.-E. (1984): Unterscheidungskriterien für Mineralisationen des varistischen und postvaristischen Zyklus, die aus der Analyse fluider Einschlüsse gewinnbar sind: Schriftenreihe der GDMB, **41**: 255–269.
- BENEK, R., ECKHARDT, F.-J., HUEBSCHER, H.-D., KORICH, D., KRAMER, W., MARX, J., NEGENDANK, J. F. & TOBSCHALL, H. J. (1995): Massenbilanzen und Quantifizierung der stofflich-genetischen Entwicklung permokarboner Magmatite der Norddeutschen Senke als Beitrag zur Modellierung spätorogener Becken: Endbericht DFG Projekt To53/14-2 GeoForschungsZentrum Potsdam, 1–148.
- BEUTLER, G. (1998): Keuper: Hallesches Jb. f. Geowiss., **B 6**: 45–58.
- BORNHARDT, W. (1912): Über die Gangverhältnisse des Siegerlandes und seiner Umgebung: Archiv f. Lagerstättenforsch., **2**: 1–415.
- BROWN, A. (2000): Evaluation of possible gas microseepage mechanisms: AAPG Bull., **84**: 1775–1789.
- BÜCHEL, G. & MERTES, H. (1982): Die Eruptionszentren des Westeifeler Vulkanfeldes: Z. dt. geol. Ges., **133**: 409–429.
- BUDEUS, P. P. (1988): *Strukturgeologische Untersuchungen im Mittelrheingebiet und an der Unter mosel auf dem N-Flügel und im Zentrum der Moselmulde*, Dissertation, Universität Bonn.
- CLARKE, W. B., JENKINS, W. J. & TOP, Z. (1976): Determination of tritium by mass spectrometric measurement of ^3He : Int. J. appl. Radiat. Isotopes, **27**: 515–522.
- CLIFT, R., GRACE, J. R. & WEBER, M. E. (2005): *Bubbles, Drops and Particles*, Academic Press, 381 S.
- CLOOS, H. (1939): Hebung, Spaltung, Vulkanismus. Elemente einer geometrischen Analyse irdischer Großformen: Geol. Rundsch., **30**: 401–519.
- COCHRAN, E. S., VIDALE, J. & TANAKA, S. (2004): Earth tides can trigger shallow thrust fault earthquakes: Science, **306**: 1164–1166.
- DEGN, C., MUUSS, U. & JORZICK, H.-P. (1997): *Topographischer Atlas Schleswig-Holstein und Hamburg*, Wachholtz Verlag, 235 S.
- DULCE, J.-C. & GRONEMEIER, K. (1982): Linearanalysen auf Satelliten- und Luftbildern in verschiedenen geologischen Einheiten - Anwendbarkeit in der Hydrogeologie: Z. dt. geol. Ges., **133**: 535–549.
- EHRENDREICH, H. (1958): Stratigraphie, Tektonik und Gangbildung im Gebiet der Emser Blei-Zinkerzgänge: Z. dt. geol. Ges., **110**: 561–582.

- ETIOPE, G. & MARTINELLI, G. (2002): Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview: *Phys. Earth Planet. Int.*, **129**: 185–204.
- FARRELL, W. E. (1972): Deformation of the Earth by Surface Loads: *Rev. Geophys. Space Phys.*, **10**: 761–797.
- FELIX-HENNINGSSEN, P. (1990): *Die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke (MTV) im Rheinischen Schiefergebirge. Aufbau, Genese und quartäre Überprägung*, Borntraeger, 192 S.
- FENCHEL, W. (1985): Sammelwerk Deutsche Eisenerzlagerstätten. I. Eisenerze im Grundgebirge (Varistikum). 1. Die Sideriterzgänge im Siegerland-Wied-Distrikt: *Geol. Jb.*, **D 77**: 1–517.
- FISCHER, T., KALENDA, P. & SKALSKY, L. (2006): Weak tidal correlation of NW-Bohemia/Vogtland earthquake swarms: *Tectonophysics*, **424**: 259–269.
- FOLLMANN, O. (1921): Die Koblenzschichten am Mittelrhein und im Moselgebiet: *Ver. Natruhist. Ver. Rheinld. u. Westf.*, **79**: 1–105.
- FRANKE, W., EDER, W. & LANGENSTRASSEN, F. (1978): Main aspects of geosynclinal sedimentation in the Rhenohercynian zone: *Z. dt. geol. Ges.*, **129**: 201–216.
- FUCHS, Y. & LANG-VILLEMAIRE, C. (1981): Sur quelques Concentraions Plombo-Zinciferes du devonian Inferieur du Massiv Schisteux Rhénan: *Mineral. Deposita*, **16**: 339–355.
- GASSER, U. (1978): Zur tektonischen Problematik der Moselmulde (Rheinisches Schiefergebirge): *Geotekt. Forsch.*, **54**: 1–84.
- GAST, R. E. (1988): Rifting im Rotliegenden Niedersachsens: *Geowiss.*, **6**: 115–122.
- GESCHWINDER, M. (1992): *Die Entstehungsgeschichte der Insel Amrum*, Eigenverlag, 12 S.
- GREGORY, R. G. & DURANCE, E. M. (1985): Helium, carbon dioxide and oxygen soil gases: Small scale variations over fractured ground: *J. Geochem. Explor.*, **24**: 29–49.
- GRIESHABER, E., O'NIONS, R. & OXBURGH, E. R. (1992): Helium and carbon isotope systematic of crustal fluids from the Eifel, the Rhine Graben and Black Forest, F.R.G.: *Chem. Geol.*, **99**: 213–235.
- GRÜNTAL, G. & TROMAYER, D. (1992): The recent crustal stress field in Central Europe: Trajectories and finite element modelling: *J. Geophys. Res.*, **97**: 11805–11820.
- HAAS, W. (1975): Zur Tektonik der Bopparder Hauptmulde und ihres Südost-Rahmens am Mittelrhein zwischen Braubach und Boppard (Rheinisches Schiefergebirge): *Mainzer geowiss. Mitt.*, **4**: 159–194.

- HAAS, W. (1997): Die tektonische Prägung der Kieselgallen aus dem Ober-Emsium des Mittelrheingebietes: Neues Jb. Geol. Paläont. Mh., **1997**: 281–283.
- HARRISON, J. C. (1976): Cavity and topographic effects in tilt and strain measurement: J. Geophys. Res., **81**: 319–328.
- HARRISON, J. C. (1985): Earth Tides: Benchmark Papers in Geology Series, **85**: 1–417.
- HEATON, T. H. (1975): Tidal Triggering of Earthquakes: Geophys. J. R. Astron. Soc., **43**: 307–326.
- HEINICKE, J. & KOCH, U. (2000): Slug flow - a possible explanation for hydrogeochemical earthquake precursors at Bad Brambach Germany: Pure appl. Geophys., **157**: 1621–1641.
- HERMANSSON, H.-P., ÅNKERBLUM, G., CHYSSLER, J. & LINDÉN, A. (1991): Geogas - a Carrier or a Tracer?: SKN Report, National Board for spent nuclear fuel, **51**: 1–66.
- HINKLE, M. E. (1990): *Geochemistry of Gaseous Elements and Compounds*, Kap. Factors affecting concentrations of helium and carbon dioxide in soil gases, 421–448, Theophrastus Publications.
- HINKLE, M. E. (1994): Environmental conditions affecting concentrations of He, CO₂, O₂ and N₂ in soil-gases: Appl. Geochem., **9**: 56–63.
- HINZEN, K. (2007): Erdbebenstation Bensberg - Erdbebenkatalog: Zugriff (15.08.2007) <http://www.seismo.uni-koeln.de/catalog/index.htm>.
- HINZEN, K.-G. (2003): Stress field in the Northern Rhine area, Central Europe, from earthquake fault plane solutions: Tectonophysics, **377**: 325–356.
- HOFFMANN, R. (1996): Die quartäre Tektonik des südwestlichen Schiefergebirges begründet mit der Höhenlage der jüngeren Hauptterrasse der Mosel und ihrer Nebenflüsse: Bonner Geowiss. Schriften, **19**: 1–145.
- HOLLAND, P. & EMMERSON, D. E. (1987): Determination of the helium-4 content of nearsurface atmospheric air within the continental United States: J. Geophys. Res., **92 B12**: 12557–12556.
- ILLIES, J. & BAUMANN, H. (1982): Crustal dynamics and morphodynamics of the Western European Rift System: Z. f. Geomorph (Supplementband), **42**: 135–165.
- JENTSCH, S. (1960): Die Moselmulde und ihre südöstlichen Randstrukturen zwischen Lahn und Westerwald: Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **88**: 190–215.
- JENTZSCH, G. (1997): Earth tides and ocean tidal loading: Lect. Notes Earth Sci., **66**: 145–167.

- JOCHUM, J. (2000): Variscan and post-Variscan lead-zinc mineralization, Rhenish Massif, Germany: evidence for sulfide precipitation via thermochemical sulfate reduction: Mineral. Deposita, **35**: 451–464.
- JOHNSON, H. & AXFORD, W. (1969): Production and loss of He³ in the earth's atmosphere: J. Geophys. Res., **74**: 2433–2438.
- JONES, V. & DROZD, R. (1983): Predictions of Oil or Gas Potential by Near-Surface Geochemistry: AAPG Bulletin, **67**: 932–952.
- JUX, U. & MANZE, U. (1974): Milieu-Indikationen im Devon des Bergischen Landes mittels Kohlenstoff-Isotopen: Neues Jb. Geol. Paläont. Mh., 353–373.
- KEINOW, S. (1933): Die Innere Tektonik des Unterdevon zwischen Rhein, Mosel und Nahe: Jb. preuß. Geol. L.-Amt, **54**: 58–95.
- KIRNBAUER, T. & SCHNEIDER, J. (1998): Geologie und hydrothermale Mineralisationen im rechtsrheinischen Schiefergebirge: Jb. Nass. Ver. Naturk. So.-Bd., **1**: 1–328.
- KLUSMAN, R. W. & JAACKS, J. A. (1987): Environmental influences upon mercury, radon and helium concentrations in soil gases at a site near Denver, Colorado: J. Geochem. Explor., **27**: 259–280.
- KOCKEL, F. (2002): Rifting processes in NW-Germany and the German North Sea Sector: Geol. Mijnbouw, **81**: 149–158.
- KOSSMAT, F. (1927): Gliederung des varistischen Gebirgsbaues: Abh. sächs. Geol. L.-Anst., **1**: 1–39.
- KRAHN, L. (1988): *Buntmetall-Vererzung und Blei-Isotope im Linksrheinischen Schiefergebirge und in angrenzenden Gebieten*, Dissertation, RWTH Aachen.
- KRAHN, L. & BAUMANN, A. (1996): Lead isotope systematics of epigenetic lead-zinc mineralization in the western part of the Rheinisches Schiefergebirge, Germany: Mineral. Deposita, **31**: 225–237.
- KRAHN, L. & FRIEDRICH, G. (1991): Zur Genese der Buntmetall-Vererzungen im westlichen Rheinischen Schiefergebirge: Erzmetall, **44**: 23–29.
- KRÖLL, R. (2001): Zur Stratigraphie, Fazies und Tektonik des Unterdevon zwischen der Unter-mosel und Boppard (Moselmulde, Rheinisches Schiefergebirge): Bonner geowiss. Schriften, **29**: 1–261.
- KRUG, J. (1997): *Ebbe und Flut*, Bd. 4, Küstenverlag, 40 S.

- KÜMPEL, H.-J. (1992): About the potential of wells to reflect stress variations within inhomogeneous crust: *Tectonophysics*, **211**: 317–336.
- KURZ, M. D. & JENKINS, W. J. (1981): The distribution of helium in oceanic basalt glasses: *Earth Planet. Sci. Lett.*, **53**: 41–54.
- LAMBECK, K. (1980): *The Earth's variable Rotation: Geophysical causes and consequences*, Cambridge University Press, 449 S.
- LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ (2005): *Geologie von Rheinland-Pfalz*, Schweizerbart, 400 S.
- LEHMANN, H. (1959): Stratigraphie und Tektonik im Mittelrheingebiet zwischen Braubach und Kestert: *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **87**: 268–292.
- LEYENDECKER, G. (1986): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 1000-1981: *Geol. Jb. Reihe E*, **36**: 1–83.
- LIEDTKE, H. & MARCINEK, J. (2002): *Physische Geographie Deutschlands*, Klett, 786 S.
- LIEDTKE, H., SCHARF, G. & SPERLING, W. (1973): *Topographischer Atlas von Rheinland-Pfalz*, Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz, 218 S.
- LIPPOLT, H. J. (1983): *Plateau Uplift*, Kap. Distribution of volcanic activity in space and time, 112–120, Springer.
- LÖHNERTZ, W. (1978): Zur Altersstellung der tiefliegenden fluviatilen Tertiärablagerungen der SE-Eifel (Rheinisches Schiefergebirge): *Neues Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **156**: 179–206.
- LOTZ, B. (2004): *Neubewertung des rezenten Wärmestroms im Norddeutschen Becken*, Dissertation, Freie Universität Berlin.
- LUPTON, J. E. (1983): Terrestrial inert gases - Isotope tracer studies and clues to primordial components in the mantle: *Ann. Rev. Planet. Sci.*, **11**: 371–441.
- MAY, F. (1994): *Zur Entstehung der Mineralwässer des Rheinischen Massivs*, Dissertation, Universität Bonn.
- MAY, F. (2002): *Quantifizierung des CO₂-Flusses zur Abbildung magmatischer Prozesse im Untergrund der Westeifel*, Shaker, 170 S.
- MAYSTENKO, Y. (2005): *Evolution and structure of the Glueckstadt Graben by use of borehole data, seismic lines and 3D structural modelling, NW Germany*, Dissertation, Freie Universität Berlin.

- MCCARTHY, J. H. & REIMER, G. M. (1986): Advances in soil gas geochemical exploration for natural resources: some current examples and practices: *J. Geophys. Res.*, **91B**: 12327–12338.
- MELCHIOR, P. (1983): *The Tides of the Planet Earth*, Pergamon Press, 2. Aufl., 641 S.
- MELCHIOR, P. (1968): De l'astronomie de position à la géodésie spatiale et à la géodynamique: Observatoire Royal de Belgique, Communications (B), **34**: 1–39.
- MERTES, H. (1983): Aufbau und Genese des Westeifeler Vulkanfeldes: *Bochumer geol. geotechn. Arb.*, **9**: 1–413.
- MERTES, H. & SCHMINKE, H.-U. (1983): Age distribution of volcanoes in the West-Eifel: *Neues Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **166**: 260–293.
- MEYER, W. (1994): *Geologie der Eifel*, Schweitzerbart, 618 S.
- MEYER, W., ALBERS, H., BERNERS, H., v. GEHLEN, K., GLATTHAAR, D., LÖHNERTZ, W., PFEFFER, K., SCHNÜTGEN, A., WEINECKE, K. & ZAKOSEK, H. (1983): *Plateau Uplift*, Kap. Pre-quaternary uplift in the central part of the Rhenisch Massif, 39–46, Springer.
- MEYER, W. & STETS, J. (1980): Zur Paläogeographie von Unter- und Mitteldevon im westlichen und zentralen Rheinischen Schiefergebirge: *Z. dt. geol. Ges.*, **131**: 725–751.
- MEYER, W. & STETS, J. (1996): *Das Rheintal zwischen Bingen und Bonn*, Borntraeger, 2. Aufl., 386 S.
- MEYER, W. & STETS, J. (1998): Vorläufige Karte der Hebung der jüngeren Hauptterrasse im Rheinischen Massiv: *Schriftenreihe SFB-350*, **74**: 7–10.
- MÖBUS, G. (1996): Tektonische Erbanlagen im Quartär des südlichen Ostseeraumes - eine Richtungsanalyse: *Z. geol. Wiss.*, **24** (3/4): 325–334.
- MOHR, M., KUKLA, P., URAI, J. & BRESSER, G. (2005): Multiphase salt tectonic evolution in NW Germany: seismic interpretation and retro-deformation: *Int. J. Earth Sci.*, **94**: 917–940.
- MORGOUNOV, V. A., BOYARSKY, E. A. & STEPANOV, M. V. (2005): Earthquakes and tidal phases: *Izvestija Phys. solid Earth*, **41**: 71–85.
- MÜLLER, B., WEHRLE, V., ZEYEN, H. & FUCHS, K. (1997): Short scale variations of tectonic regimes in the western European stress province north of the Alps and Pyrenees: *Tectonophysics*, **275**: 199–219.
- MÜLLER, D. & SCHERP, A. (1967): Die tertiäre Mineralisation auf der Blei-Zink-Erzlagerstätte Ramsbeck/Sauerland und ihre Genese: *Neues Jb. Mineral. Abh.*, **106**: 131–157.

- MÜLLER-SOHNUS, D. (1993): Variation on a 36-Ma-old theme: length, intensity and rhythm of volcanism. A record from the Hoheifel (Germany): *J. Volcan. Geotherm. Res.*, **55**: 216–270.
- MÜLLER-SOHNUS, D., HORN, P. & HUCKENHOLZ, H. G. (1989): Kalium-Argon-Datierungen an tertiären Vulkaniten der Hoheifel (BRD): *Chem. Erde*, **49**: 119–136.
- MURAWSKI, H., ALBERS, H., BENDER, P., BERNERS, H.-P., DÜRR, S., HUCKRIEDE, R., KAUFFMANN, G., KOWLSZYK, G., MEIBURG, P., MULLER, A., RITZKOWSKI, S., K., S., SEMMEL, A., STAPF, K., WALTER, R., WINTER, K.-P. & ZANKL, H. (1983): *Plateau Uplift*, Kap. Regional tectonic setting and geological structure of the Rhenish Massif, 9–38, Springer.
- NEUGEBAUER, H. J. (1989): Models of lithospheric thinning: *An. Rev. Earth Planet. Sc.*, **15**: 421–443.
- NEUGEBAUER, H.-J., WOITD, W.-D. & WALLNER, H. (1983): *Plateau Uplift*, Kap. Uplift, volcanism and. tectonics: Evidence for mantle diapirs at the Rhenish Massif, 381–403, Springer.
- NISHIMURA, E. (1950): On Earth Tides: *Am. Geophys. Union Trans.*, **31**: 367–372.
- ONCKEN, O. (1989): Geometrie, Deformationsmechanismen und Paläospannungsgeschichte großer Bewegungszonen in der höheren Erdkruste (Rheinisches Schiefergebirge): *Geotekt. Forsch.*, **73**: 1–215.
- OZIMA, M. & PODOSEK, F. A. (1983): *Noble Gas Geochemistry*, Cambridge University Press, 367 S.
- PELZING, R. (1998): Seismicity and seismotectonics of the lower Rhine areas: *Schriftenreihe SFB-350*, **74**: 77–84.
- PLOSCHENZ, C. (1994): Quartäre Vertikaltektonik im südöstlichen Rheinischen Schiefergebirge begründet mit der Lage der Jüngeren Hauptterrasse: *Bonner geowiss. Schriften*, **12**: 1–185.
- PORCELLI, D., BALLENTINE, C. J. & WIELER, R. (2002): An Overview of Noble Gas Geochemistry and Cosmochemistry: *Rev. Min. Geochem.*, **47**: 1–19.
- PRICE, P. C. (1986): *Unconventional Methods in Exploration for Petroleum and Natural Gas*, Bd. IV, Kap. A critical overview and proposed working model of surface geochemical exploration, 245–309, Southern Methodist University Press.
- QUIRING, H. (1939): Über kontravergente Transformation von Faltenzonen im Rheinischen Gebirge: *Z. dt. gol. Ges.*, **91**: 421–432.
- REGENBAUER-LIEB, K. (1999): Dilatant plasticity applied to Alpine collision: ductile void growth in the intraplate area beneath the Eifel volcanic field: *J. Geodynamics*, **27**: 1–21.

- REHS, B. (1999): *Der Einfluß meteorologischer Parameter auf den Radon-Transport im Boden*, Dissertation, Universität Göttingen.
- REIMER, G. M. (1983): Use of soil-gas helium concentrations for earthquake prediction: Liminations imposed by diurnal variation: J. Geophys. Res., **85 B**: 3107–3114.
- REPPKE, V. (1993): *Varistische und postvaristische Buntmetallmineralisation in der östlichen Eifel (Linksrheinisches Schiefergebirge) ein mineralogischer und bergbaulicher Überblick*, Dissertation, Universität Göttingen.
- RITTER, J. R. R., JORDAN, M., CHRISTENSEN, U. & ACHAUER, U. (2001): A mantle plume below the Eifel volcanic fields, Germany: Earth Planet. Sci. Lett., **186**: 7–14.
- R.KRIENKE (2007): Wetterstation Koblenz, Lay: Zugriff (01.09.2007) <http://userpages.uni-koblenz.de/~krienke/wetter/wetter.cgi>.
- SCHAEFFER, R. (1984): Die postvariszische Mineralisation im nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirge: Braunschweiger geol.-paläont. Diss., **3**: 1–206.
- SCHÄFER, A. (1989): Variscan molasse in the Saar-Nahe-Basin (SW-Germany), Upper Carboniferous and Lower Permian: Geol. Rdsch., **78**: 499–524.
- SCHEIVENBUSCH, T. (1992): Bilanzierte Profile, Profilabwicklung und Verformungsanalyse im westlichen Rheinischen Schiefergebirge zwischen Sötenicher Kalkmulde und Moselmulde: Bonner geowiss. Schriften, **3**: 1–162.
- SCHERP, A. (1961): Der Initialvulkanismus im ostrheinischen Schiefergebirge und seine Lagerstätten: Erzmetall, **14**: 328–335.
- SCHERP, A. & STADLER, G. (1973): Aspekte der Erzbildung im Siegerland: Z. dt. geol. Ges., **124**: 51–59.
- SCHICK, R. & SCHNEIDER, G. (1973): *Physik des Erdkörpers*, Enke, 267 S.
- SCHIFFER, R. (1996): *Untersuchungen zur Erkundung der Lage überdeckter Permeabilitätszonen unter Berücksichtigung von Einflußfaktoren auf den Helium- und Radongehalt der Bodenluft*, Dissertation, TU Clausthal, TU Clausthal.
- SCHMIERER, T. & QUIRING, H. (1933): *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen, Blatt Koblenz Nr. 3270*, Königl. preuß. Geol. L.-Anst., 53 S.
- SCHNEPP, E. & HARADETZKY, H. (1994): Combined paleointensity and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum data for volcanic rocks of the Westeifel field (Germany): Evidence for an early Brunhes geomagnetic excursion: J. Geophys. Res., **99**: 9061–9076.

- SCHREIBER, U. & ROTSCH, S. (1998): Cenozoic block rotation according to a conjugate shear system in central Europe - indications from paleomagnetic measurements: *Tectonophysics*, **299**: 111–142.
- SCHRIEL, W. (1952): Die gegenseitigen Beziehungen der Erzparagenese variscischen und tertiären Alters erläutert an der Stellung des Bensberger und Ramsbecker Erzbezirkes zur Paffrather Kalkmulde und dem Massenkalksattel von Brilon nebst einem Vergleich mit anderen Gebieten: *Neues Jb. Miner. Mh.*, **1952**: 239–253.
- SENITZ, S. (2001): Untersuchung und Anwendung kurzperiodischer Schwankungen des Grundwasserspiegels in Thüringen: *Grundwasser*, **6**: 174–182.
- SOLLE, G. (1937a): Geologie der mittleren Olkenbacher Mulde: *Abh. senckenberg. naturforsch. Ges.*, **436**: 1–72.
- SOLLE, G. (1937b): Zur Entstehung der Kieselgallen: *Senckenbergiana*, **19**: 385–391.
- SOLLE, G. (1942a): Die Kondel-Gruppe (Oberkoblenz) im Südlichen Rheinischen Schiefergebirge. I-III: *Abh. senck. naturforsch. Ges.*, **461**: 1–92.
- SOLLE, G. (1942b): Die Kondel-Gruppe (Oberkoblenz) im Südlichen Rheinischen Schiefergebirge. IV-V: *Abh. senck. naturforsch. Ges.*, **464**: 95–156.
- SOLLE, G. (1942c): Die Kondel-Gruppe (Oberkoblenz) im Südlichen Rheinischen Schiefergebirge. VI-X: *Abh. senck. naturforsch. Ges.*, **467**: 157–240.
- SOLLE, G. (1972): Abgrenzung und Untergliederung der Oberems-Stufe, mit Bemerkungen zur Unterdevon-/Mitteldevon-Grenze: *Notizbl. hess. L.-Amt f. Bodenforsch.*, **100**: 60–91.
- STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN (2003): *Statistisches Jahrbuch Schleswig-Holstein 2003*, Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 293 S.
- STATISTISCHES AMT FÜR HAMBURG UND SCHLESWIG-HOLSTEIN (2007): *Statistisches Jahrbuch Schleswig-Holstein 2006/2007*, Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 297 S.
- STETS, J. (1990): Ist die Wittlicher Rotliegend-Senke (Rheinisches Schiefergebirge) ein „pull-apart“ Becken: *Mainzer geowiss. Mitt.*, **19**: 81–98.
- TANAKA, S., OHTAKE, M. & SATO, H. (2005): Evidence for tidal triggering of earthquakes as revealed from: *J. Geophys. Res.*, **107**: 2211 doi:10.1029/2001JB001577.
- THYBO, H. (1997): Geophysical characteristics of the Tornquist Fan area northwest Trans-European Suture Zone: indication of late Carboniferous to early Permian dextral transtension: *Geol. Mag.*, **134** (5): 597–606.

- TORGERSEN, T. & CLARKE, W. B. (1985): Helium accumulation in groundwater, I: An evaluation of sources and the continental flux of crustal ^4He in the Great Artesian Basin, Australia: *Geochim. Cosmochim. Acta*, **49**: 1211–1278.
- TORGERSEN, T. & CLARKE, W. B. (1987): Helium accumulation in groundwater, III. Limits on helium transfer across the mantle-crust boundary beneath Australia and the magnitude of mantle degassing: *Earth Planet. Sci. Lett.*, **84**: 345–355.
- V. GEHLEN, K. (1987): Formation of Pb-Zn-F-Ba - mineralizations in SW Germany: a status report.: *Fortschr. Min.*, **65**: 87–114.
- VINKEN, R. (1988): The Northwest European Tertiary Basin - Results of the International Geological Correlation Programme Project No 124: *Geol. Jb. A*, **100**: 1–507.
- VOIT, H. (1950): Über Unterschied in der Phase bei berechneten und beobachteten Tiden: *Pure Appl. Geophy.*, **17**: 37–39.
- WAHR, J. M. (1981): Body tides on an elliptical, rotating, elastic and oceanless earth: *Geophys. J. Astron. Soc.*, **64**: 677–703.
- WEBER, H. (1977): *Salzstrukturen, Erdöl und Kreidebasis in Schleswig-Holstein*, Landesamt Schleswig-Holstein, 106 S.
- WENZEL, H.-G. (1997): Tide Generation Potential for the Earth: *Lect. Notes Earth Sci.*, **66**: 9–26.
- WERNER, W. (1990): The Mineral Deposits of the Rhenohercynian Zone in Germany: Conference on Paleozoic Orogens in Central Europe - Geology and Geophysics. *IGCP*, **233**: 55–79.
- WIEGAND, J. (1994): Geogene Einflüsse auf das Radon-Potential im Ostbayerischen Grundgebirge: *Geowissenschaften*, **12**: 226–231.
- WILDBERGER, J. (1992): Zur tektonischen Entwicklung des südwestlichen Hunsrücks (SW-Deutschland): *Mitt. Pollichina*, **79**: 5–119.
- ZIEGLER, P. (1990): *Geological Atlas of western and central Europe*, Shell Internationale Petroleum Maatschappi, Den Haag, 239 S.
- ZIEGLER, P. A. (1994): Cenozoic rift system of western and central Europe: an overview: *Geol. Mijnbouw*, **73**: 99–127.
- ZIMMER, K. (1921): *Über die Mineralführung und die Mineralfolge einiger Erzgänge des linksrheinischen Schiefergebirges*, Dissertation, TH Aachen.
- ZSCHAU, J. (1978): *Tidal Friction and Earth's Rotation*, Kap. Tidal Friction in the Solid Earth: Loding Tides Versus Body Tides, 62–94, Springer.

A Anhang (CD)

Die Anhangdaten finden Sie auf der beiliegenden CD

A.1 Aufschlussliste der Kartierung im Untersuchungsgebiet Raum Koblenz

A.2 Sondierprofile der Sedimentprofile des Untersuchungsgebietes Amrum

A.3 Ergebnisse der Bodenluftmessungen

A.3.1 Raum Koblenz

A.3.2 Amrum

A.4 Ergebnisse der RFA und RDA

A.4.1 Raum Koblenz

A.4.2 Amrum

A.5 Theoretische Gezeitenbeschleunigung

A.5.1 Raum Koblenz

A.5.2 Amrum

A.6 Klimadaten

A.6.1 Raum Koblenz

A.6.2 Amrum

A.1 Aufschlussliste der Kartierung im Untersuchungsgebiet Raum Koblenz

Aufschlussliste für das UG Raum Koblenz										
Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo1	3403175	5568443	Tonstein: Kreuzungszone von zwei Störungszonen mit horizontalen Bewegungslinearen, Erzbelägen und Quarzrasen.				20/75			
Bo2	3403175	5568443	Tonstein: Störungsflächen.				140/80			
Bo2	3400044	5568020	Lesesteine: Quarzblöcke, dm ³ groß mit Quarzrasen.			105				
Bo3	3400431	5567829	Lesesteine: Quarz mit bergkristallartigen Quarzmineralen.							
Bo4	3401850	5567397	Lesesteine: Quarzblöcke, dm ³ groß mit Eisenmineralen durchsetzt. Auftreten auf 20-30 m begrenzt.							
Bo5	3402179	5567224	Quarzgang (Schichtparallel): Drusen mit Quarzrasen. Mächtigkeit wenige dm.	200/85						
Bo6	3402317	5567122	Siltstein: Feinlagig, glimmerführend.							
Bo7	3402394	5567105	Quarzgänge: Kreuzungsbereich zweier Quarzgänge.	200/85						
Bo8	3402931	5566788	Lesesteine: Quarzblöcke, bis dm ³ groß, mit bergkristallartigen Quarzmineralen.				110/70			
Bo8a	3402931	5566788	Lesesteine: Quarz.							
Bo9	3403053	5566584	Lesesteine: Quarz. Pingen: Verlauf 30°.			30				
Bo10	3403434	5568141	Tonstein/Siltstein (ehemaliger Steinbruch): Wechsellagerung mit Quarzrasen auf Klufflächen.					145/70		
Bo11	3403434	5568141	Tonstein:					250/80		
Bo10a	3403434	5568141	Tonstein/Siltstein: Wechsellagerung.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo11	3403475	5568087	Tonstein: Mit Quarz durchsetzt, nicht einmessbar.							
Bo12	3404636	5567309	Tonstein mit Quarzgang: nicht einmessbar.			30				
Bo13	3404285	5567562	Tonstein: dünnplattig, dunkel grau, glimmerführend mit Quarzlinsen und quarzitischen Lagen.							140/40
Bo13a	3404285	5567562	Lesesteine: Quarz.							
Bo14	3404066	5567975	Tonstein und Quarz-Lesesteine.							
Bo15	3403916	5567552	Lesesteine: Rote Tonsteine mit Eisenmineralisationen. Pingen: Verlauf in 110°.							
Bo16	3403817	5567618	Lesesteine: Quarzblöcke mit gut ausgebildeten Quarzkristallen.							
Bo17	3403747	5567703	Quarzgang: Drusen mit Quarzrasen.							
Bo18	3403819	5568272	Tonstein/Siltstein: Z. T. mit Quarz durchsetzt. Schieferungsflächen zeigen umbiegen.						135/40	
Bo19	3403819	5568272	Lesesteine: Quarz, dm ³ groß.							
Bo20	3403701	5568326	Quarzgang: Mächtigkeit 10 cm.							
Bo20a	3403701	5568326	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo20b	3403701	5568326	Quarzgang:			110				
Bo21	3403267	5568231	Tonstein: Nicht einmessbar, stark zermürbt.							
Bo22	3403496	5567102	Quarzgang im Tonstein:							
Bo23	3403481	5567408	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo23a	3403365	5567698	Tonstein: Störung aufgeschlossen.			30				
Bo23b	3403389	5567671	Tonstein: Störung aufgeschlossen.			30				
Bo24	3403307	5568321	Tonstein: Schieferungsfläche einmessbar.						155/30	
Bo25	3403175	5568443	Tonstein: Störung aufgeschlossen.				290/80	18/75		155/15

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo25	3403175	5568443						20/45		
Bo26	3403082	5568332	Tonstein (ehemaliger Steinbruch): Quarzrasen auf Kluftflächen. Quarzgang (ehemaliger Steinbruch).			110		155/75		
	3403082	5568332						235/80		
Bo27	3403077	5568308	Störungszone: nicht einmessbar (Verlauf etwa 30°).			30				
Bo28	3403076	5568271	Tonstein: Einmessbar. Quarzgang: Saiger stehend.	20/90						140/10
Bo29	3403066	5567704	Tonstein: Schichtparalleles Auftreten von Quarz.					340/90		140/10
	3403066	5567704						230/85		
Bo30	3403370	5567260	Quarzgang:	120/90		30				
Bo31	3403568	5566981	Lesesteine: Gehäuftes auftreten von Quarzblöcken. Verlauf etwa 110°.							
Bo32	3403034	5567242	Silt- und Tonstein: Feinlagig, grau. Quarzgang: Schwach ausgeprägt.	120/65		30				130/10
Bo33	3403031	5568252	Tonstein: Mit Störungsfläche. Quarzgang: Mächtigkeit wenige cm.	20/90		30				
Bo34	3403078	5568199	Ehemaliger Stollen.							
Bo35	3403228	5564905	Tonstein: Sattelstruktur (Faltenachse 40°-50° Verlauf).						140/60	135/20
Bo36	3396275	5567821								
Bo37	3396157	5568129	Tonstein: Glimmerführend.						140/55	
	3396157	5568129							300/85	
Bo38	3396374	5568106	Tonstein: Grau, glimmerführend, fossilführend, mit Störungsfläche und Bewegungs- marken auf der Störungsfläche.		90/5		180/80			
B039	3396374	5568106	Tonstein: Klüfte z. T. mit Quarz verschlossen.					0/45	310/90	345/45
	3396374	5568106						215/85		
Bo40	3396522	5567976	Lesesteine: Quarzblöcke mit Eisenmineralen durchsetzt.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo41	3396533	5567976	Tonstein:							80/30
Bo42	3396556	5568075	Lesesteine: Konglomerat mit Eisenmineralen durchsetzt.							
Bo43	3396869	5568104	Tonstein: Mit Muldenstruktur (Faltenachse 30°-50° Verlauf).							
Bo44	3396705	5568316	Siltstein: Glimmerführend, grün-grau.							
Bo45	3396641	5568360	Tonstein: Grau.					220/85	150/80	110/10
	3396641	5568360						155/85	110/60	
Bo46	3396211	5568990	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung.							320/50
Bo47	3395757	5569070	Lesesteine: Rote Tonsteine und Quarzblöcke mit gut ausgebildeten Quarzkristallen.							
Bo48	3395587	5569235	Tonstein: Mit Quarzrasen, der Eisenanreicherung enthält. Lesesteine: Rote Tonsteine.							
Bo49	3395489	5569103	Lesesteine: Rote Tonsteine mit Quarzrasen, der Eisenanreicherungen enthält.							
Bo50	3402102	5566215	Tonstein: Grau.						160/40	130/5
Bo51	3402139	5566244	Tonstein (ehemaliger Steinbruch): Mit schichtparallelen Quarzgängen. Klüftung durch gut auskristallisierten Quarz verheilt. Aufgeschlossener Quarzgang.	270/60						
Bo52	3402527	5566452	Tonstein: Mit Störungsflächen. Quarzgang: Mächtigkeit wenige cm.				135/45			
Bo53	3402506	5566465	Lesesteine: Quarzblöcke mit gut ausgebildeten Quarzkristallen.							
Bo54	3402347	5566574	Lesesteine: Quarzblöcke mit gut ausgebildeten Quarzkristallen.							
Bo55	3401921	5566630	Lesesteine: Quarzblöcke, dm ³ groß, z. T. rötlich gefärbt.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo56	3402026	5566508	Tonstein: Phylitartig, stark zerrüttet mit Quarz durchsetzt. Quarzgang:	120/70						
Bo57	3402246	5566413	Tonstein:						140/45	100/10
Bo58	3402604	5566594	Lesesteine: Quarzblöcke mit Eisenmineralen durchsetzt.							
Bo59	3402848	5566330	Quarzgang: Im Bereich ehemaliger Pinggen (Verlauf 110°).	120/?		110				
Bo60	3402983	5566018	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo61	3403007	5565880	Lesesteine: Quarzblöcke.			170				
Bo62	3403059	5565728	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo63	3402856	5565571	Tonstein: Vereinzelt schicht- und schieferungsparallele Quarzgänge.							
Bo64	3402727	5565442	Tonstein mit Quarzgang: Mächtigkeit 3-4 m. Randlich dicht, zur Mitte hin Kristallwachstum zu erkennen.	230/60				160/75		230/80
	3402727	5565442						260/65		
Bo65	3402720	5565446	Quarzgang: Mächtigkeit 3-4 m.	230/60						
Bo66	3402632	5565543	Quarzgang: Mächtigkeit 3-4 m.	230/60						
Bo67	3402598	5565803	Lesesteine: Quarzblöcke.			30				
Bo68	3402697	5565936	Lesesteine: Roter Tonstein und rote Quarzblöcke.			30				
Bo69	3402757	5566159	Lesesteine: Quarzblöcke mit Eisenmineralen durchsetzt.							
Bo71a	3402368	5565723	Tonstein: Mit Störungsflächen. Quarzgang: Mächtigkeit 30-50 cm.	100/?				40/85		
	3402368	5565723						115/70		
Bo71b	3402422	5565700	Tonstein/Siltstein: Grau, mit Schrägschichtung. Vereinzelt mit Quarzlinsen durchzogen.							130/10
Bo71c	3402498	5565874	Tonstein/Siltstein: Grau, mit Schrägschichtung. Vereinzelt mit Quarzlinsen durchzogen.							
Bo72	3402244	5566093	Sandstein/Tonstein: Wechselagerung.						150/30	340/10

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo73	3402108	5566116	Quarzgang: Nicht weit durchhaltend.	30/90						
Bo74	3402243	5565900	Tonstein: Mit Störungszone, die mit Quarz belegt ist.							
Bo75	3402634	5565689	Lesesteine: Quarzblöcke							
Bo76	3402745	5565406	Quarzgang:							
Bo77	3402965	5565292	Tonstein: Nicht einmessbar.							
Bo78	3402747	5565444	Quarzgang: Verlauf 30°							
Bo79	3402687	5564957	Tonstein: Mit Störung (nicht einmessbar).							
Bo80	3402733	5565004	Tonstein:							
Bo81	3402506	5565099	Tonstein: Mit steilstehender Bewegungsbahn.							
Bo82	3402589	5565015	Tonstein: Mit Störungszone, Mächtigkeit 30 cm. Tonstein stark zerkleinert.				120/70			
Bo83	3403668	5565437								
Bo84	3403675	5565454	Tonstein: Mit Störungszone, Mächtigkeit 2 m. Gut auskristallisierter Quarz als Spaltenfüllung. Schichtumbiegen im Störungsbereich.				120/60	230/85		
	3403675	5565454					30/70			
Bo85	3403292	5565262	Tonstein: mit Störungsflächen. Quarzgang: Mächtigkeit wenige cm.				120/70			
	3403292	5565262					25/10			
Bo86	3403289	5565287	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo87	3303196	5565389	Lesesteine: Quarzblöcke mit Eisenmineralisationen belegt. Rote Tonsteine							
Bo88	3402984	5564994	Tonstein und Siltstein: Quarz als Kluftfüllung.					110/82	140/45	150/25
	3402984	5564994						15/85		
Bo89	3403053	5565121	Tonstein: Mit Störungsflächen. Schichtumbiegen im Bereich der Störungszone.				120/80			

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo90	3402903	5565228	Tonstein: Mit Störungsflächen.				120/70			
Bo91	3402985	5565228	Tonstein:							
Bo92	3403801	5565653	Lesesteine: Tonstein							
Bo93	3403928	5565556	Quarzgang: Mächtigkeit wenige cm.	130/40			120/60			
Bo94	3403734	5565200	Pingen: Verlauf 110°.			110				
Bo95	3403627	5565241	Pingen: Verlauf 110°.			110				
Bo96	3403607	5565227	Pingen: Verlauf 110°.			110				
Bo97	3396616	5565655	Tonstein:						145/55	
Bo98	3396199	5565945	Tonstein:					120/40		120/45
	3396199	5565945						170/70		
Bo99	3395902	5566386	Siltstein: Bankig, grau.					30/85	140/50	120/40
	3395902	5566386						190/80		
Bo100	3395853	3366687	Tonstein:						140/60	
Bo101	3395779	5567324	Tonstein:					230/70		
Bo102	3395402	5567166	Tonstein und Siltstein: Dunkel grau.					215/85	145/50	
Bo103	3394772	5567754	Lesesteine: Sandstein, weiß, gelblich verwitternd, mit Eisenmineralisationen durchsetzt. Pingen			105				
Bo104	3394876	5567736	Lesesteine: Sandstein, weiß, gelblich verwitternd, mit Eisenmineralisationen durchsetzt. Pingen			105				
Bo105	3394967	5567684	Lesesteine: Sandstein, weiß, gelblich verwitternd, mit Eisenmineralisationen durchsetzt. Pingen			105				
Bo106	3394902	5567611	Lesesteine: Sandstein, stark mit Eisenmineralen durchsetzt. Pingen: Verlauf 30°			30				
Bo108	3394790	5567565	Pingen: Weiterer Verlauf.			30				
Bo109	3394584	5567482	Tonstein:						130/70	
Bo110	3396141	5567212	Tonstein: Mit Störungsflächen und Bewegungsmarken.				120/50			
Bo111	3396727	5567739	Tonstein: Mit Störungsflächen und Bewegungsmarken				285/30	75/72	320/80	320/75

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
	3396727	5567739						188/65		
Bo112	3394394	5567859								
Bo113	3394277	5567928	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo114	3394246	5567911	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo115	3394166	5567891	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo116	3394047	5567772	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo117	3394179	5568166	Sandstein (ehemaliger Steinbruch): Weißlich-grau, mit Störungszone. Im Bereich der Störung Gestein stark mit Quarz durchsetzt und rot gefärbt.				115/75			
Bo118	3394440	5568331	Sandstein: Rot, mit Faserquarz.							
Bo119	3394526	5568442	Sandstein: Rot, mit Faserquarz.							
Bo120	3394588	5568466	Sandstein: Weiß.							
Bo121	3394600	5568463	Sandstein: Rot, mit Quarzrasen.							
Bo122	3394435	5568033	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo123	3394479	5568079	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo124	3394508	5568100	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo125	3394558	5568117	Quarzit: Glimmerführend, weiß-grau, gelblich verwitternd. Lesesteine: Mit Faserquarz und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo126	3395375	5568939	Quarzit: Glimmerführend, weiß-grau, rötlich verwitternd. Mit Faserquarz und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo127	3395419	5569104	Lesesteine: Quarzit, rot, mit Faserquarz und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo128	3395342	5569031	Lesesteine: Quarzit, Drusen mit gut auskristallisiertem Quarz.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo129	3395288	5569160	Quarzit							
Bo130	3395099	5569034	Quarzit							
Bo131	3395224	5568945	Quarzit							
Bo132	3398381	5566420	Tonstein						90/90	
Bo133	3398540	5566420	Tonstein: Mit Quarzgang, Mächtigkeit wenige cm.	40/?			110/55			
Bo134	3398518	5566370	Tonstein:							
Bo135	3398495	5566200	Stolleneingang: Störungsflächen				125/65			
Bo136	3398600	5566278	Tonstein (ehemaliger Steinbruch):					280/80		
	3398600	5566278	Tonstein (ehemaliger Steinbruch):					110/65		
Bo137	3398426	5565899	Tonstein (ehemaliger Steinbruch):							
Bo138	3398187	5565868	Tonstein/Siltstein (ehemaliger Steinbruch): Von Quarz durchzogen.							
Bo139	3398384	5566144	Quarzgang:	100/30				280/85		
Bo140	3398670	5566451	Tonstein mit Quarzgang: Mit flach einfallenden Bewegungsmarken.	110/85	20/5			110/85		
Bo141	3398666	5566486	Tonstein: Mit Kleinfalten (Faltenachse 126/60)							260/65
	3398666	5566486								105/60
Bo142	3398632	5566472	Quarzgang: Mächtigkeit 20 cm, nicht gut einmessbar.							
Bo143	3398617	5566623	Quarzit:			30				
Bo145	3397099	5566323	Tonstein: Glimmerführend auf Schieferungsflächen, grau.					210/70		
Bo146	3396845	5566291	Tonstein: Glimmerführend, grau.					210/60	140/75	
	3396845	5566291						320/35		
Bo147	3396822	5566660	Tonstein:						135/65	
Bo148	3396815	5566773	Tonstein: Mit flacher Überschiebungsbahn und Schichtumbiegen im Bereich der Störungszone.				110/35	310/60		140/60

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo149	3396815	5566773						4/85		
	3396766	5567092	Siltstein: Grau-grünlich.					245/85		120/50
	3396766	5567092						306/85		
Bo150	3396877	5567284	Siltstein: Fossilführend, grau-grünlich.							
Bo151	3396820	5567345	Tonstein:					300/85		145/50
	3396820	5567345						60/85		
	3396820	5567345						160/90		
Bo152	3396915	5567483	Tonstein: Grau.							180/40
Bo153	3397008	5567592	Tonstein					240/70		140/45
	3397008	5567592						163/75		
	3397008	5567592						60/75		
Bo154	3397272	5567830	Tonstein: Mit Störungszone. Gestein aufgelockert.				80/75			
Bo155	3397721	5567891	Tonstein: Mit Störungsfläche. Quarzgang: Mächtigkeit wenige cm.					192/70		110/35
	3397721	5567891								
	3397885	5567829	Tonstein: Glimmerführend, dunkelgrau-bläulich, schwarz verwitternd.				197/72	220/70		
Bo156								220/90		140/60
Bo157	3398271	5567456	Tonstein:					250/70		
	3398271	5567456						5/70		
	3398271	5567456						182/25		130/10
Bo158	3398271	5567456	Tonstein:					138/45		
	3398271	5567456						10/85		
	3398271	5567456								
Bo159	3397314	5566961	Tonstein:					130/65	130/70	
Bo161	3395381	5570351	Sandstein: Weiß, gelblich verwitternd. Lesesteine: Stark eisenmineralhaltiges Gestein (Eisenerz).			30		55/70		
Bo162	3395704	5570171	Lesesteine: Konglomerat von Eisenmineralen durchsetzt.							
Bo163	3395402	5569907	Tonstein:							
Bo164	3395536	5569807	Silt- bis Sandstein/Tonstein: Wechsellagerung.							340/20

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo165	3395552	5569511	Quarzit: Mit Quarz durchzogen und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo166	3395991	5569324	Lesesteine: Tonsteine und Siltsteine, grau mit Faserquarz und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo167	3395869	5569360	Sandstein: Weiß, lagenweise rote Färbung.							
Bo168	3395730	5569477	Sandstein: Weiß. Quarzgang, Mächtigkeit 5 cm.							
Bo169	3396339	5570340	Lesesteine: Konglomerat und Sandsteine, rötlich dunkelbraun. Von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo170	3396543	5570701	Lesesteine: Konglomerat und Sandsteine, rötlich dunkelbraun. Von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo171	3396666	5570393	Lesesteine: Konglomerat von Eisenmineralen durchsetzt und Quarzblöcke.							
Bo172	3396722	5570459	Quarzit:							
Bo173	3396871	5570527	Lesesteine: Konglomerat von Eisenmineralen durchsetzt.							
Bo174	3396976	5570504	Sandstein: Weiß, gelblich verwitternd, von Mangankrusten und vereinzelt Quarzadern durchzogen.							
Bo175	3396979	5570400	Silt- und Tonstein:					100/85		
Bo176	3397060	5570411	Silt- und Tonstein: Rot. Eine Zone in der das Gestein ausgeblichen und mürbe ist.					90/85	330/45	305/75
	3397060	5570411						175/70		
Bo177	3396979	5570329	Tonstein: Mit Störungsflächen und flach einfallenden Bewegungsmarken.		310/15		215/50			

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo178	3397234	5570427	Tonstein: Vereinzelt rot gefärbt, mit Quarzgängen, Mächtigkeit bis 5 cm, durchsetzt.							
Bo179	3397314	5570380	Sandsteine: Von Eisenmineralisationen durchsetzt.			110				
Bo180	3397358	5570269	Lesesteine: Sandsteine, von Eisenmineralisationen durchsetzt. Quarzblöcke.							
Bo181	3396404	5569936	Lesesteine: Quarzit von Eisenmineralisationen durchsetzt. Quarzrasen mit Eisenmineralisationen belegt.							
Bo182	3396155	5569911	Quarzit: Mit Quarzgängen durchzogen und von Eisenerzmineralisationen durchsetzt.							
Bo183	3396229	5569962	Sandstein							
Bo184	3395868	5570092	Lesesteine: Sandstein, von Eisenmineralisationen durchsetzt. Konglomerat, von Eisenmineralen durchzogen.							
Bo185	3394510	5571111	Lesesteine: Quarzblöcke							
Bo186	3394541	5571115	Sandstein: Mit Tonsteinlagen, durchzogen mit Eisenmineralisationen (senkrecht zur Schichtung).							
Bo187	3394550	5571131	Lesesteine: Quarzit, rot verwitternd.							
Bo188	3394731	5571071	Lesesteine: Quarzit, fossilführend.							
Bo189	3394701	5571201	Lesesteine: Konglomerat.				175/75			
Bo190	3403027	5565883	Lesesteine: Quarzblöcke, m ³ groß.	30/?						
Bo191	3403138	5566494	Lesesteine: Quarzblöcke mit Tonsteinfragmenten.							
Bo192	3403056	5566489	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo193	3402370	5573260	Quarzgang:							
Bo194	3402398	5573245	Quarzgang:							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo195	3402406	5573243	Quarzgang: Mit flach einfallenden Bewegungsmarken.	20/90	198/2,5					
Bo196	3394701	5571621	Tonstein: Plattig.					215/50	145/65	145/65
Bo197	3394696	5571655	Lesesteine: Konglomerat.							
Bo198	3395147	5572778	Tonstein (ehemaliger Steinbruch): feinplattig, grau.					30/70	318/45	318/42
	3395147	5572778						310/75		
	3395147	5572778						120/45		
Bo199	3395302	5572464	Lesesteine: Quarzit, glimmerführend, von Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo200	3395266	5572274	Tonstein:						310/70	310/70
Bo201	3395352	5572164	Tonstein:							130/35
Bo202	3395348	5571891	Lesesteine: Konglomerat.							
Bo203	3395412	5571774	Tonstein: Lesesteine: Konglomerat.							
Bo204	3395023	5571529	Lesesteine: Konglomerat.							
Bo205	3395027	5571520	Lesesteine: Konglomerat.							
Bo206	3394945	5570077	Lesesteine: Sandstein, rot verwitternd, mit Quarzrasen. Schwarze Eisenerze.			30				
Bo207	3394945	5570077	Lesesteine: Siltführender Sandstein und quarzitischer Sandstein.							
Bo208	3395684	5568775	Lesesteine: quarzitischer Sandstein von Quarz durchzogen.							
Bo209	3396250	5569082	Tonstein: Gestein stark zerlegt.				295/40			
Bo210	3396250	5569082	Tonstein: Gestein stark zerlegt mit Störungsflächen.				330/60			330/60
Bo211	3396747	5570285	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, rötlich verwitternd, von Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo212	3396875	5570250	Lesesteine: Sandstein, gelbliche, mit gut auskristallisiertem Quarz.							
Bo213	3396972	5570252	Tonstein:				305/85			305/85

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo214	3397022	5570266	Tonstein: Fossilführend.							
Bo215	3397022	5570266	Lesesteine: Konglomerat von Mineralisationen durchzogen.							
Bo216	3397268	5570118	Lesesteine: Siltführender Sandstein, grünlich grau, vereinzelt schillführend.							
Bo217	3397268	5569759	Lesesteine: Siltstein, grünlich grau, rot verwitternd, mit Faserquarz.			30				
Bo218	3397495	5569885	Lesesteine: Siltstein, rot verwitternd, z. T. von dunklen Mineralisationen durchzogen.							
Bo219	3397363	5569808	Lesesteine: Siltstein, grünlich grau, rot verwitternd, mit Faserquarz.							
Bo220	3397303	5569757	Lesesteine: Siltstein, grünlich grau, rot verwitternd, mit Faserquarz.							
Bo221	3397700	5569513	Lesesteine: Siltstein, glimmerführend, gelblich grau verwitternd.							
Bo222	3397775	5569866	Siltstein und Tonstein:							
Bo223	3397031	5569819	Lesesteine: Siltstein, glimmerführend, gelblich grau.							
Bo224	3398213	5568161	Tonstein: Klüfte z. T. mit Quarz verschlossen.					150/85		
Bp224a	3398235	5568080	Tonstein: Lagenweise Siltstein.			150		220/85		128/35
Bo225	3398029	5568266	Tonstein:					330/80	315/85	140/40
Bo226	3398161	5568882	Tonstein:							
Bo227	3398195	5569024	Tonstein: Mit Störungszone. Gestein aufgelockert.				00/90			330/80
	3398195	5569024					340/80			
Bo228	3398233	5569196	Tonstein:							
Bo229	3398064	5569664								135/55
Bo230	3397956	5569261	Tonstein/Siltstein: Glimmerführend mit Störungsflächen und Schichtumbiegen.				136/25	230/85		

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
	3397956	5569261						8/55		
Bo232	3396891	5570679	Lesesteine: Quarzblöcke mit Eisenmineralen durchsetzt und Tonsteine mit Eisenmineralisationen.							
Bo233	3397053	5570735	Sandstein: Mit Eisenmineralisationen. Lesesteine: Quarzit							
Bo234	3397036	5571189	Lesesteine: Quarzit, weißlich mit gut auskristallisiertem Quarz.							
Bo235	3397090	5571229	Lesesteine: Sandstein, glimmerführend.							
Bo236	3397111	5571282	Quarzit: Rötlich verwitternd, von Quarz durchsetzt.							
Bo237	3397130	5571300	Lesestein: Quarzblöcke, m ³ groß, teilweise gut ausgebildete Quarzkristalle.							
Bo238	3397530	5570963	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo239	3397554	5570918	Lesesteine: Sandsteine, fossilführend, mit Eisenmineralisationen. Quarzit mit Quarz auf Klüftflächen.							
Bo240	3397463	5570807	Lesesteine: Sandstein mit Mineralisationen. Quarzitischer Sandstein.							
Bo242	3397324	5570773	Lesesteine: Siltstein, rot verwitternd, z. T. von Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo243	3397362	5570708								
Bo244	3397229	5570716	Lesesteine: Sandstein, rot verwitternd.							
Bo246	3397004	5570411	Siltstein: Grau, rot verwitternd.					280/85		305/75
	3397004	5570411						175/80		
Bo247	3397004	5570452	Siltstein: Mit tonigen Lagen.					195/60	335/70	110/85

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo248	3397101	5570396	Sandstein: Glimmerführend.					330/60		
Bo249	3397391	5570561	Lesesteine: Sandstein, teilweise mit Mangankrusten.							
Bo250	3397478	5570514	Sandstein: Mit Mangankrusten.							
Bo251	3397425	5570269	Lesesteine: Sandstein, rot mit Eisenmineralisationen. Quarzblöcke mit gut ausgebildeten Kristallen und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo252	3397803	5570148	Siltstein: Grau.					70/85		
Bo253	3398311	5570016	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein mit Eisenmineralisationen.			105				
Bo254	3398236	5569903	Pinge:							
Bo255	3398110	5569855	Lesesteine: Tonstein.							
Bo256	3398127	5569780	Lesesteine: Tonstein.							
Bo257	3398331	5569646	Lesesteine: Tonstein.							
Bo258	3398345	5569832	Lesesteine: Tonstein.							
Bo259	3398622	5570050	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung von Quarz durchzogen.							
Bo260	3398200	5570085	Tonstein:							
Bo261	3397988	5569931	Tonstein:							
Bo262	3397937	5569946	Halde: Tonstein, rot verwitternd und von Quarz durchzogen.							
Bo264	3396892	5571048	Tonstein:							
Bo265	3397214	5571556	Quellaustritt: Verockerung der Quelle.							
Bo266	3397088	5571674	Lesesteine: Quarzit, gelblich verwitternd.			30				
Bo267	3397295	5571766	Lesesteine: Quarzit.							
Bo268	3397094	5571889	Lesesteine: Quarzit mit Quarzrasen und Drusen mit gut ausgebildeten Quarzkristallen.							
Bo269	3997094	5571994	Lesesteine: Tonstein.							
Bo270	3397020	5571990	Halde: Quarzit mit Quarzrasen, z. T. rot gefärbt.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo271	3396992	5571969	Lesesteine: Quarzit.							
Bo272	3396898	5571975	Lesesteine: Quarzit.			30				
Bo273	3396862	5571889	Lesesteine: Quarzit.							
Bo274	3396794	5571850	Lesesteine: Quarzit, m ³ groß, mit Quarzrasen und Drusen mit gut ausgebildeten Quarz- kristallen.							
Bo275	3396752	5571776	Lesesteine: Quarzit.							
Bo276	3396663	5571597	Lesesteine: Quarzit mit Quarz- rasen und Drusen mit gut aus- gebildeten Quarzkristallen.							
Bo277	3396512	5571486	Quarzit: Quarzführend.							
Bo278	3396590	5571445	Lesesteine: Quarzit.							
Bo279	3396794	5572002	Lesesteine: Quarzit.							
Bo280	3397319	5572381	Quarzitischer Sandstein: Weiß, tiefgründig verwittert.							310/70
Bo281	3397845	5572459	Lesesteine: Quarzit, weißgrau.							
Bo282	3397613	5571993	Tonstein/Siltstein: Wechsella- gerung: Glimmerführend, grau. Mit Bewegungsmarken auf den schichtparallelen Störungsflä- chen.		295/20			61/85		300/55
	3397613	5571993						170/80		
Bo283	3397829	5572112	Tonstein:						290/75	
Bo284	3398005	5571987	Quarzit: Stellenweise stark von Quarz durchsetzt.					220/80	100/70	100/70
	3398005	5571987						298/70		
Bo285	3398132	5571963	Siltstein:							
Bo286	3397530	5571907	Siltstein: Grau.							
Bo287	3397530	5571907	Lesesteine: Quarzit, grau, gelb- lich braun verwitternd.							
Bo288	3397828	5571849	Quarzit: Grau, gelblich braun verwitternd.							320/85
Bo289	3397870	5568306	Tonstein: Mit Siltsteinlagen, glimmerführend, fossilführend.					338/80	150/60	144/60
Bo290	3397653	5568417	Tonstein: Mit Konkretionen.					220/65		
	3397653	5568417						40/65		

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo291	3397499	5568683	Tonstein: Störungsflächen und steil einfallenden Bewegungsmarken.		170/70		240/80	220/60		140/80
Bo292	3397472	5568794	Tonstein: Bewegungsfläche mit Abrisskanten.							
Bo293	3397469	5568897	Tonstein/Siltstein: Mit vereinzelt Feinsandlagen, glimmerführend und vereinzelt schillführend.					40/85		135/55
Bo294	3397533	5569024	Tonstein: Glimmerführend: Rot.							
Bo295	3397569	5569018	Tonstein/Siltstein: Rot.							
Bo296	3397799	5569004	Tonstein/Siltstein: Grau.							135/55
Bo297	3399349	5570275	Tonstein:							
Bo298	3399783	5570707	Tonstein: Mit Konkretionen.					135/45		140/78
Bo299	3400064	5571043	Tonstein: Siltsteinführend, grau mit Störungsflächen und flach einfallenden Bewegungsmarken.		110/35		20/85	310/88		140/50
	3400064	5571043						20/75		
	3400064	5571043						260/65		
Bo300	3401822	5571559	Löss:							
Bo301	3401604	5571449	Löss und Tonstein: Übergang.							
Bo302	3401389	5571358	Tonstein: Mit Konkretionen.							
Bo303	3401243	5571292	Tonstein: Stark verfaltet.							
Bo304	3401056	5571200	Tonstein: Stark verfaltet.							
Bo305	3400350	5570754	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, glimmerführend, von Quarz durchsetzt.			105				
Bo306	3400246	5570884	Lesesteine: Quarzit, m ³ groß, von Quarz durchsetzt.							
Bo307	3400273	5571023	Tonstein:							
Bo308	3399908	5570255	Tonstein:							
Bo309	3394501	5567739	Lesesteine: Quarzit, rot braun, quarzführend.							
Bo310	3398394	5569356	Tonstein: Glimmerführend, grau.					182/85		145/85

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo311	3398699	5569283	Tonstein:							140/82
Bo312	3398767	5569496	Tonstein: Schichtschleppung.							350/65
Bo313	3398783	5569617	Tonstein:							130/30
Bo314	3398900	5569563	Tonstein:							145/70
Bo315	3398815	5569456	Tonstein: Mit Störungsflächen und Bewegungsmarken mit mittelsteilem Einfallen.		149/59		140/50			
Bo316	3397946	5569147	Tonstein: Mit Störungsfläche.				20/80			
Bo317	3398427	5569550	Tonstein:							350/90
Bo318	3399252	5570334	Tonstein: Schwach glimmerführend.					240/85		145/80
Bo319	3399200	5570090	Tonstein:					50/90		130/90
Bo320	3399469	5569885	Tonstein: Mit Störungszone und Bewegungsmarken mit mittelsteilem Einfallen.		300/60		310/60	130/75	150/40	
Bo321	3399383	5569891	Tonstein:					60/70		145/90
Bo322	3399279	5569782	Tonstein: Klüfte z. T. mit Quarz verschlossen.				15/90			130/80
Bo323	3399222	5569795	Tonstein: Mit Konkretionen.					245/45		130/70
Bo324	3399165	5569871	Tonstein:							140/60
Bo325	3399167	5569811	Tonstein: Mit Konkretionen.							120/65
Bo326	3399163	5569751	Tonstein: Mit Quellaustritt.							
Bo327	3398938	5569828	Tonstein:							
Bo328	3398842	5569760	Tonstein:							
Bo329	3397808	5572671	Lesesteine: Quarzit, rot mit Quarzrasen.							
Bo330	3397714	5572617	Lesesteine: Quarzit, rot.							
Bo331	3397664	5572647	Lesesteine: Eisenerze. Pingengefeld (Verlauf 30°)			30				
Bo332	3397424	5572724	Lesesteine: Konglomerat.							
Bo333	3397686	5572771	Lesesteine: Quarzit und wenige Eisenerze.							
Bo334	3397952	5573087	Lesesteine: Quarzit, rot, vereinzelt mit Quarzrasen und Eisenmineralisationen.							
Bo335	3398329	5572959	Lesesteine: Quarzit, rot, vereinzelt mit Quarzrasen und Eisenmineralisationen.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo336	3398225	5573299	Lesesteine: Quarzit, rot, vereinzelt mit Quarzrasen und Eisenmineralisationen.							
Bo337	3398042	5573242	Lesesteine: Quarzit, rot, vereinzelt mit Quarzrasen und Eisenmineralisationen.			30				
Bo338	3398243	5573614	Lesesteine: Quarzit.							
Bo339	3398604	5573703	Lesesteine: Quarzit, rot mit Eisenmineralisationen.			30				
Bo340	3394579	5570139	Lesesteine: Eisenerze.							
Bo341	3397850	5572596	Tonstein:							
Bo342	3398278	5572957	Lesesteine: Quarzblöcke, m ³ groß. Quarzit, rot mit Quarzrasen und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo343	3398309	5572993	Halde: Eisenerz.			30				
Bo344	3398381	5572966	Quarzit: Mit Quarzrasen.							
Bo345	3398458	5573060	Quarzit: Von Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo346	3398522	5573051	Lesesteine: Quarzit, rot mit Quarzrasen.							
Bo347	3398702	5573030	Sandstein: Weiß, teilweise rot, mit Quarzrasen.							
Bo348	3398514	5573244	Quarzit: Kreuzungsbereich zweier Störungszonen.				110/70		100/90	
	3398514	5573244					25/75			
Bo349	3398484	5573233	Lesesteine: Quarzit, rot mit Quarzrasen.							
Bo350	3398764	5573683	Lesesteine: Quarzit, z. T. rot. Quarzblöcke, von Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo351	3398924	5573757	Lesesteine: Quarzit, rot, mit gut auskristallisierten Quarzmineralen.							
Bo352	3399145	5573352	Quarzit: Grau, gelblich grau verwitternd.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo353	3399017	5573317	Quarzit: Mit einer 10 m Breiten Zone in der das Gestein rot gefärbt ist.							
Bo354	3398350	5572727	Lesesteine: Quarzit, rot. Siltstein, rot und Tonstein, rot.							
Bo356	3399735	5573615	Quarzit: Grau, gelblich verwitternd. Stolleneingang.							
Bo357	3399862	5573798	Siltstein: gelblich grau. Stolleneingang.							
Bo358	3400120	5573920	Lesesteine: Silt- und Sandstein, glimmerführend.							
Bo359	3400313	5573968	Löss: Mit Geröllen von Siltstein, Sandstein, und Quarzit.							
Bo360	3399991	5574450	Lesesteine: Sandstein, grünlich grau, glimmerführend. Quarzit.							
Bo361	3399873	5574347	Lesesteine: Quarzit.							
Bo362	3399902	5574242	Terrassenschotter: Gerölle von Quarz, Quarzit, Sandstein, Siltstein, gerundet.							
Bo363	3399845	5574094	Lesesteine: Quarzit.							
Bo364	3399507	5574021	Quarzit: Hellgrau, vereinzelt rot.							
Bo365	3399412	5574166	Quarzit: gelblich grau verwitternd.							
Bo366	3399085	5574038	Lesesteine: Quarzit von Quarz durchsetzt.							
Bo367	3398973	5573948	Lesesteine: Quarzit, rot.							
Bo368	3399006	5573899	Lesesteine: Quarzit, rot.							
Bo369	3399167	5573841	Quarzit: Grau, gelblich grau verwitternd.							310/70
Bo370	3398727	5573734	Lesesteine: Quarzit.			30				
Bo371	3398306	5572889	Lesesteine: Quarzblöcke mit Drusen. Quarzit mit Eisenmineralisationen.			30				
Bo372	3398368	5572951	Quarzgang: Stark von Eisenmineralisationen durchsetzt.			30				

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo373	3398277	5572728	Lesesteine: Grau mit Quarzrasen, teilweise rot.							
Bo374	3398682	5572750	Lesesteine: Grau mit Quarzrasen, teilweise rot.							
Bo375	3398712	5572494	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung.					220/80	310/60	30/35
	3398712	5572494						256/70	90/55	
Bo376	3398619	5572528	Tonstein:							
Bo377	3398510	5572567	Tonstein:							
Bo378	3398455	5572567	Lesesteine: Siltiger Tonstein. Quarzit.							
Bo379	3398262	5572312	Sandstein: Glimmerführend, auf einer Breite von 20 m mit Eisenmineralisationen.							
Bo380	3398052	5572325	Quarzit: Grau mit Stolleneingang.							
Bo381	3398042	5572342	Siltstein: Grenze Siltstein, Quarzit.					5/80	300/70	300/70
Bo382	3398155	55721555	Lesesteine: Quarzit.							
Bo383	3398059	5572024	Siltstein/Tonstein: Wechsellaagerung mit Quarzitlagen, glimmerführend.					30/90		310/65
	3398059	5572024					115/85	330/40		
Bo384	3398100	5571694	Quarzit: Mit Quarzrasen, teilweise mit Mineralisationen.							
Bo385	3398141	5571750	Quarzit: Mit eingeschalteten Tonsteinlagen.					310/50		125/45
	3398141	5571750						228/80		
Bo386	3398277	5571855	Quarzit: Grau.							
Bo387	3398759	5572148	Quarzit und Tonstein: Grenze zwischen den Gesteinseinheiten aufgeschlossen.						310/45	
Bo388	3399156	5572243	Siltstein:							310/45
Bo389	3399244	5572248	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, mit Schalenresten, grau, gelblich verwitternd.							
Bo390	3398959	5572419	Tonstein:					230/45	310/70	310/35

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo391	3398913	5572653	Tonstein:					225/45		310/60
Bo392	3400301	5572919	Tonstein: Mit Sandsteinlagen, Rinnenstruktur.							
Bo393	3400342	5572948	Terrassenschotter:							
Bo394	3400483	5572897	Sandstein: Mit tonigen Bereichen, glimmerführend, weißlich grau.					220/80		300/60
Bo395	3400609	5572841	Tonstein: Glimmerführend, grau, grünlich grau verwitternd.						305/80	310/80
Bo396	3400736	5572785	Tonstein:					160/45	310/80	
Bo397	3400974	5573007	Tonstein: Nicht einmessbar.							
Bo398	3400798	5573127	Halde: Quarzitischer Sandstein, glimmerführend mit Quarzrasen und Drusen.					160/90		130/70
	3400798	5573127						40/70		
Bo399	3399568	5572493	Tonstein und Sandstein: Grenze zwischen den Gesteinseinheiten aufgeschlossen. Sandstein, schwach glimmerführend, mit Pflanzenresten, grau.							
Bo400	3399453	5572597	Lesesteine: Tonsteine stark von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo401	3399382	5572624	Lesesteine: Tonsteine, rot, glimmerführend.							
Bo402	3399433	5570700	Lesesteine: Tonsteine stark von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo403	3401033	5571912	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung.					40/50		138/85
	3401033	5571912						240/70		
Bo404	3401110	5571777	Tonstein: Nicht einmessbar.							
Bo405	3400349	5571319	Tonstein:							140/60
Bo406	3400272	5571274	Tonstein: Mit Siltsteinlinsen.					130/45		140/30
	3400272	5571274						220/85		

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
	3400272	5571274						232/65		
Bo407	3400026	5571061	Tonstein: Nicht einmessbar.							
Bo408	3399870	5571056	Boden (tonig): Auf einer Strecke von 10 m starke Rotfärbung.							
Bo409	3399694	5571062	Tonstein: Schillführend.							
Bo410	3399658	5571089	Tonstein: Schillführend.					250/90	140/70	320/60
Bo411	3399647	5571283	Lesesteine: Tonsteine von Mineralisationen durchsetzt.							
Bo412	3399761	5571375	Lesesteine: Tonsteine von Mineralisationen durchsetzt.							
Bo413	3403299	5569986	Tonstein: Phylitartig mit Störungszone.				240/15			
Bo414	3403214	5570074	Tonstein: Leicht phylitisch, glimmerführend, grau grün. An Störungsflächen Schichtschleppung.				315/55			
Bo415	3403137	5570005	Tonstein: Mit Quarzgängen, Mächtigkeit 15 cm.							210/5
Bo416	3403110	5570005	Quarzgang: Mächtigkeit 2 m.	20/90						
Bo417	3403080	5570047	Quarzgang: Mächtigkeit 1 m.	20/90			300/90			
Bo418	3403172	5569992	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung.							210/15
Bo419	3403264	5569948	Tonstein: Mit Quarzgängen, Mächtigkeit 5 cm.	205/50						
Bo420	3403211	5569831	Tonstein: Mit Muldenstruktur.					60/70		265/40
Bo421	3403176	5569880	Tonstein:					290/50		230/5
Bo422	3403163	5569671	Tonstein: Stark zerkleinert.							
Bo423	3403005	5570088	Tonstein: Mit vereinzelt Siltsteinlagen.					44/72		210/10
Bo424	3403055	5570215	Tonstein: Mit schichtgebundenen Quarzgängen.					55/65	170/40	22/10
Bo425	3403066	5569530	Terrassenschotter:							
Bo426	3402940	5569479	Tonstein: Phylitisch, grau, mit Störungsflächen.				123/90			
	3402940	5569479					140/85			
	3402940	5569479					192/80			

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo427	3402987	5569435	Tonstein:							
Bo428	3402949	5569434	Tonstein:							
Bo429	3402886	5569334	Tonstein:							
Bo430	3402291	5569182	Tonstein: Mit vereinzelt Siltsteinlagen. Quarzlinsen im Tonstein.					200/65		
Bo431	3402343	5569133	Tonstein:							85/10
Bo432	3402491	5569000	Tonstein: Störungszone mit Quarzgängen.	60/?						
Bo433	3402239	5568988	Tonstein/Siltstein: Wechsella- gerung					200/80		120/10
Bo434	3402127	5569028	Tonstein: Von Quarz durch- setzt.				20/20			120/45
Bo435	3401975	5569143	Tonstein/Siltstein: Wechsella- gerung. Kluftflächen z. T. mit Quarz belegt.					250/60		300/10
Bo436	3024165	5569086	Tonstein: Mit Quarz auf den Schieferungsflächen.							
Bo437	3401485	5569380	Tonstein: Mit Quarz auf den Schieferungsflächen.							
Bo438	3401797	5569247	Tonstein: Mit Störungszone. Quarz parallel zur Störungszo- ne.				310/15		155/30	
	3401797	5569247					40/15			
Bo439	3401516	5569316	Tonstein: Grau, mit Siltstein- lagen und Schieferungsparalle- lem Quarzgang.	290/50			325/65	130/85	290/50	120/25
Bo440	3401189	5569345	Tonstein: Grau. Kluftflächen mit Quarz belegt.				110/5	190/90	126/35	
	3401189	5569345						228/80		
Bo441	3401036	5569582	Tonstein: Glimmerführend, grün grau mit Störungszone							
Bo442	3400878	5569583	Terrassenschotter:							
Bo443	3400679	5569578	Siltstein: Tonig, glimmerfüh- rend, grünlich braun.							
Bo444	3400280	5569615	Tonstein: Grau, mit Störungs- flächen.				305/70		90/60	140/45

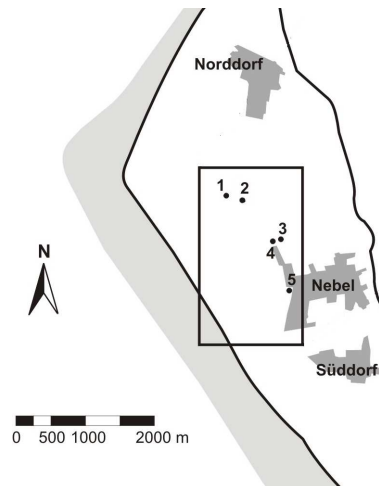
Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo445	3399889	5569551	Tonstein: Grau.					190/90	140/45	
	3399889	5569551						260/80		
Bo446	3399674	5569674						160/80	145/70	
	3399674	5569674	Tonstein:					245/85		
Bo447	3399487	5569420	Tonstein:							
Bo448	3399556	5569463	Tonstein: Mit Störungsflächen und Schichtschleppung.				200/25			200/25
Bo449	3399363	5569465	Tonstein: Glimmerführend, grau, mit Störungsflächen und steil einfallendem Bewegungsmarken.		20/75		330/85	135/60		234/80
	3399363	5569465					118/30			
	3399363	5569465					198/80			
	3399363	5569465					356/50			
Bo450	3401918	5570892	Tonstein: Glimmerführend, grau, mit Störungsfläche. Tonstein zerkleinert im Bereich der Störungsfläche.				140/60			
Bo451	3401662	5571042	Tonstein: Nicht einmessbar.					322/85	145/60	
Bo452	3401309	5570987	Tonstein: Stark zerkleinert, mit Strörungszone.				118/85	192/85		120/80
	3401309	5570987						80/45		155/70
Bo453	3400820	5570787	Tonstein:					80/90		
Bo454	3400849	5570736	Tonstein: Mit Störungsflächen und flach einfallendem Bewegungsmarken.		230/5		148/60			140/80
Bo455	3401179	5570710	Terrassenschotter:							
Bo456	3401675	5570950	Terrassenschotter/Tonstein: Grenze zwischen diesen Einheiten.							
Bo457	3401984	5571266	Terrassenschotter (ehemalige Kiesgrube):							
Bo458	3400137	5570433	Tonstein: Grau					190/60	120/60	130/40
Bo459	3400292	5570556	Tonstein: Mit Störungszone, Mächtigkeit 5 cm.				170/60			
Bo460	3402685	5570572	Tonstein: Nicht einmessbar.							
Bo461	3402727	5570637	Tonstein: Mit Störungsfläche.				100/75			

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo462	3402759	5570575	Terrassenschotter:							
Bo463	3395629	5571769	Lesesteine: Quarzit, rot mit Eisenmineralisationen.							
Bo464	3395511	5571853	Lesesteine: Quarzit mit Quarzrasen. Sandstein, z. T. quarzitisch mit Quarzrasen und Eisenmineralisationen. Konglomerat mit Eisenmineralisationen.							
Bo465	3395458	5571968	Sandstein: Quarzitisch mit Eisenmineralisationen belegt. Lesesteine: Quarzit mit Quarzrasen und von Eisenerzmineralisationen durchsetzt.	40/?						
Bo466	3395408	5572073	Lesesteine: Quarzit von Quarzgängen durchzogen.					200/65		
Bo467	3394921	5572286	Siltstein: Nicht einmessbar.							
Bo468	3394917	5572260	Siltstein: Grün grau, mit Störungsflächen und flach einfallenden Bewegungsmarken		310/30		Okt 45			
Bo469	3395101	5571794	Terrassenschotter:							
Bo470	3395101	5571792	Terrassenschotter:							
Bo471	3395195	5571808	Terrassenschotter:							
Bo472	3395201	5571795	Terrassenschotter:							
Bo473	3395265	5571275	Terrassenschotter: z. T. von Mineralisationen durchsetzt.							
Bo474	3395361	5571325	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, rötlich, mit Quarzrasen.							
Bo475	3395382	5571317	Lesesteine: Konglomerat, mit Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo476	3402293	5568274	Tonstein: Mit Störungszone (Aufschiebung).				276/5			130/60
	3402293	5568274					120/60			115/20
Bo477	3400431	5568168								

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo478	3400184	5568151	Tonstein: Phylitisch, mit Schichtschleppung, Quarzgängen und Störungsfläche.				205/88	250/80	40/25	
	3400184	5568151						60/65		
Bo479	3395491	5573210	Siltstein: Fossilführend, mit Tonsteinlagen.					230/90		320/72
Bo480	3395326	5573603	Siltstein/Tonstein: Wechsellaagerung, glimmerführend, grau grün.					120/30		330/50
Bo481	3395370	5573798	Siltstein: Glimmerführend, gelblich braun, mit Störungsfläche.				190/60			
Bo482	3395351	5573861	Tonstein: Fließerde.							
Bo483	3395316	5573971	Tonstein: Schillführend, mit Kolkmarken.							120/87
Bo484	3395316	5573971	Tonstein: Schillführend, grau.							300/85
Bo485	3395898	5574192	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, rot.							298/60
Bo488	3397403	5572107	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, rot.							
Bo489	3395053	5572720	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung, schillführend, mit Rippelmarken.					266/70		320/62
	3395053	5572720						50/75		
	3395053	5572720						326/70		
Bo490	3395053	5572720	Siltstein/Sandstein: Wechsellaagerung, mit glimmerführenden Tonsteinlagen und einer Störungsfläche.				135/70	195/45		305/70
	3395053	5572720						210/80		325/60
Bo491	3395181	5573055	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung.							330/50
Bo492	2605150	5572294								
Bo493	3398178	5571389	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, fossilführend, gelblich verwitternd. Boden in der Umgebung teilweise rot gefärbt.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo494	3398291	5571315	Sandstein/Tonstein: Grenze der Einheiten. Tonstein mit Störungsfläche und flach einfallendem Bewegungslinear.		250/5		160/85			18/50
Bo495	3398291	5571315			72/35		182/70			
	3398393	5571217	Tonstein/Siltstein: Wechsellagerung, schillführend, von Eisenmineralisationen durchsetzt.							138/70
Bo496	3398285	5571556	Tonstein: Grau, mit Siltsteinlagen.							115/90
Bo497	3398399	5571706	Lesesteine: Siltsteine, fossilführend, weiß und teilweise rot.							
Bo498	3399135	5571527	Terrassensedimente (alte Kiesgrube):							
Bo499	3399036	5570960	Siltstein: Glimmerführend, fossilführend mit Störungsfläche. Vereinzelt Faserquarz, Quarzrasen und Eisenmineralisationen.				225/85		165/50	330/80
Bo500	3398984	5570743	Tonstein: Glimmerführend, grünlich grau.							
Bo501	3399110	5570881	Tonstein: Glimmerführend, grau, mit Schleifmarken und Störungsflächen.				100/60	28/82		166/60
	3399110	5570881					82/90			
	3399110	5570881					180/82			
Bo502	3399165	5570991	Tonstein: Glimmerführend, schillführend, grau.							

A.2 Sondierprofile der Sedimentprofile des Untersuchungsgebietes Amrum



Lage der Sondierpunkte zur Gewinnung der Sedimentprofile auf Amrum. Kartengrundlage

©Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein 2006.

Sedimentprofil Standort 1		Rechtswert	Hochwert
		3456662	6059445
Tiefe in m	Beschreibung		
0-0,25	Feinsand, grau mit Pflanzenresten		
0,25-0,45	Feinsand, braungrau mit Pflanzenresten		
0,45-0,50	Feinsand, rotbraun mit Rostflecken		
0,50-1	Feinsand, grau, Rostflecken, Fe-Konkretionen		

Sedimentprofil Standort 2	Rechtswert	Hochwert
	3456926	6059393

Tiefe in m	Beschreibung
0,05-0,35	Feinsand-Mittelsand, hell-grau
0,35-1	Feinsand-Mittelsand, bräunlich grau

Sedimentprofil Standort 3	Rechtswert	Hochwert
	3457419	6058852

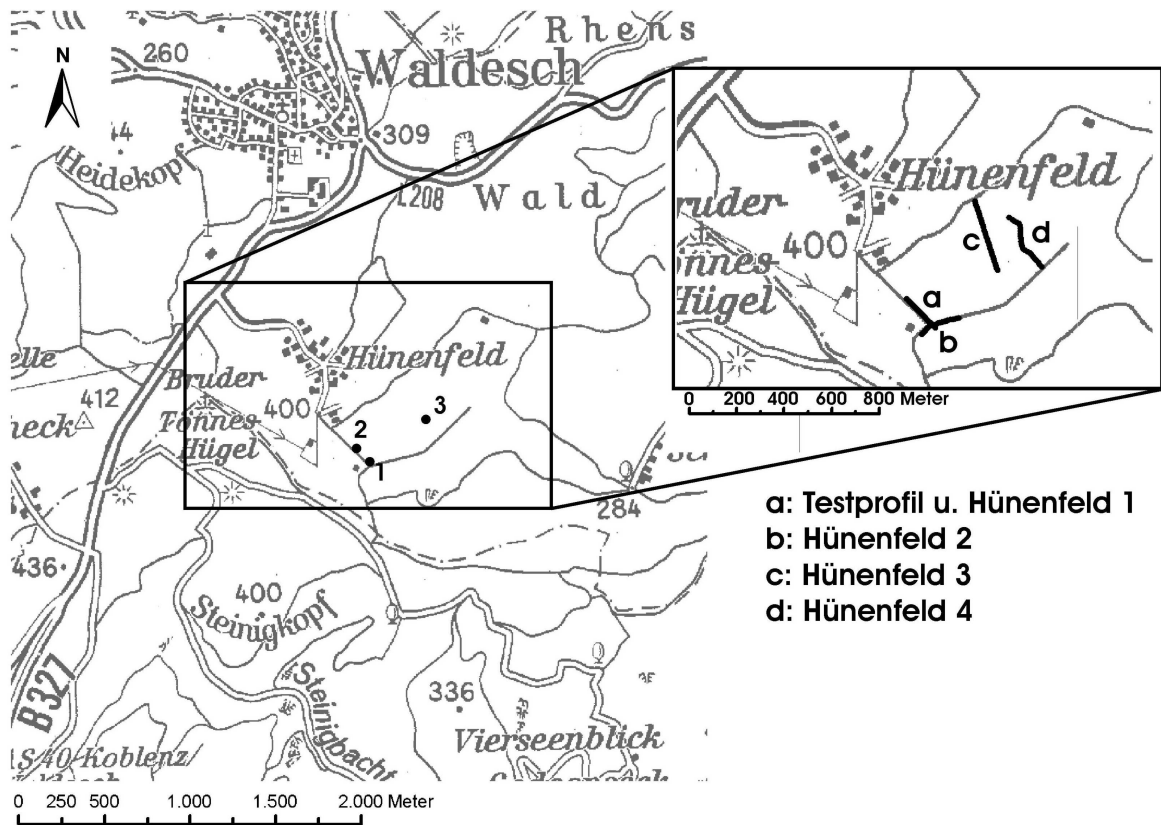
Tiefe in m	Beschreibung
0,15-0,25	Feinsand-Mittelsand, grau
0,25-0,30	Feinsand-Mittelsand, rötlich braun, schwarz-fleckig
0,30-0,65	Feinsand-Mittelsand mit Schluffanteil, Kiese, grau
0,65-0,95	Schluff-Feinsand, rötlich braun mit Pflanzenresten

Sedimentprofil Standort 4		Rechtswert	Hochwert
		3457317	6058337
Tiefe in m	Beschreibung		
0,15-0,45	Mittelland, nach unten feinsandiger, dunkelgrau mit Pflanzenresten		
0,45-50	Feinsand mit Tonanteil, grau schwarz		
0,50-0,85	Feinsand-Mittelsand mit Schluffanteil, vereinzelt Kiese, rötlich braun		
0,85-1	Feinsand, mit Schluff- und Tonanteil, Kiese, gelblich braun, Fe-Konkretionen, Pflanzenresten		

Sedimentprofil Standort 5		Rechtswert	Hochwert
		3457618	6058109
Tiefe in m	Beschreibung		
0,15-0,50	Feinsand-Mittelsand, hellgrau bis braun, Pflanzenreste		
0,50-0,85	Feinsand mit Schluff- und Tonanteil, dunkelbraun		
0,85-0,95	Kernverlust		
0,95-1	Feinsand mit Grobsandanteil, rötlich braun, Fe-Konkretionen		

A.3 Ergebnisse der Bodenluftmessungen

A.3.1 Raum Koblenz



Lage der Profile zur Bodenluftmessung im UG Raum Koblenz Geobasisinformationen (TK 25) ©Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz.

Heliumkonzentrationen der Bodenluft der Profile im UG Koblenz

Profil: Testprofil				Datum: 20.04.2004
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He Hintergrund [ppb]
a1	3396693	5570553	5221	5260
1	3396686	5570560	5434	
2	3396679	5570567	5505	
3	3396672	5570574	5386	
4	3396665	5570582	5390	
5	3396658	5570589	5408	
6	3396651	5570596	5273	
7	3396644	5570603	5124	
8	3396638	5570611	5170	
9	3396631	5570618	5242	
10	3396624	5570625	5293	
11	3396617	5570633	5211	
12	3396610	5570640	5311	
13	3396603	5570647	5326	
14	3396596	5570654	5208	
15	3396590	5570662	5168	
16	3396583	5570669	5292	
17	3396576	5570676	5235	
18	3396569	5570683	5337	
19	3396562	5570691	5216	
20	3396555	5570698	5145	
22	3396548	5570705	5286	
23	3396542	5570713	5243	
24	3396535	5570720	5134	
25	3396528	5570727	5264	
26	3396521	5570734	5259	

Profil: Hünenfeld 1				Datum: 11.04.2005	
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
14 a	2610597	5570672	5205	5204	5236
12a	3396708	5570534	5244	5245	
10	3396701	5570542	5197	5196	
3	3396694	5570549	5483	5500	
8	3396687	5570556	5383	5394	
6	3396681	5570564	5346	5354	
5	3396674	5570571	5278	5282	
20a	3396667	5570578	5248	5250	
21a	3396660	5570586	5297	5302	
23a	3396654	5570593	5311	5317	
26a	3396647	5570600	5263	5266	
27a	3396640	5570608	5159	5155	
29a	3396633	5570615	5305	5311	
31a	3396626	5570622	5167	5164	
33a	3396620	5570630	5186	5184	
35a	3396613	5570637	5134	5128	
37a	3396606	5570644	5243	5245	
39a	3396599	5570652	5282	5286	

Profil: Hünenfeld 2				Datum: 16.05.2006	
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
14 a	3396650	5570509	5079	5070	5218
12a	3396657	5570516	5279	5283	
10	3396664	5570522	5250	5252	
3	3396670	5570529	5225	5332	
8	3396677	5570535	5210	5209	
6	3396684	5570542	5387	5398	
5	3396691	5570546	5458	5473	
20a	3396701	5570547	5357	5366	
21a	3396710	5570549	5175	5172	
23a	3396719	5570551	5288	5292	
26a	3396728	5570553	5119	5112	
27a	3396737	5570556	5236	5237	
29a	3396746	5570558	5570	5593	
31a	3396755	5570560	5187	5185	
33a	3396763	5570563	5206	5205	
35a	3396773	5570565	5220	5220	
37a	3396782	5570566	5173	5170	
39a	3396791	5570568	5302	5307	
41a	3396800	5570569	5346	5354	
43a	3396809	5570571	5370	5380	

Profil: Hünenfeld 3			Datum: 07.06.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
2neu	3396897	5571062	5162	5159	5237
3	3396900	5571053	5260	5263	
4	3396902	5571043	5181	5179	
5	3396905	5571034	5156	5151	
6	3396908	5571024	5214	5213	
7	3396911	5571014	5374	5384	
9	3396913	5571005	5265	5267	
10	3396916	5570995	5549	5571	
11a	3396919	5570985	5325	5332	
12a	3396921	5570976	5342	5350	
14a	3396924	5570966	5199	5198	
15a	3396927	5570957	5262	5265	
20a	3396930	5570947	5262	5265	
21a	3396932	5570937	5221	5221	
22a	3396935	5570928	5202	5200	
23a	3396938	5570918	5235	5236	
24a	3396940	5570908	5369	5378	
25a	3396943	5570899	5263	5266	
	3396946	5570889	Verlust		
27a	3396949	5570880	5273	5276	
28a	3396951	5570870	5254	5256	
29a	3396954	5570860	5224	5225	
30a	3396957	5570851	5248	5249	
31a	3396959	5570841	5258	5260	
32a	3396962	5570831	5288	5293	
33a	3396965	5570822	5260	5262	
34a	3396967	5570812	5200	5199	
35a	3396970	5570803	5246	5248	
37a	3396973	5570793	5268	5271	
38a	3396976	5570783	5240	5241	
39a	3396978	5570774	5208	5207	
40a	3396981	5570766	5205	5204	

Profil: Hünenfeld 4				Datum: 17.04.2007	
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
3	3397039	5570986	5236	5570986	5190
5	3397052	5570978	5184	5570978	
6	3397060	5570971	5145	5570971	
7	3397070	5570966	5119	5570966	
8	3397078	5570959	5254	5570959	
12a	3397084	5570950	5242	5570950	
13a	3397084	5570939	5155	5570939	
14a	3397084	5570928	5273	5570928	
15a	3397084	5570917	5198	5570917	
20a	3397084	5570906	5172	5570906	
21a	3397085	5570895	5246	5570895	
23a	3397085	5570884	5146	5570884	
24a	3397086	5570873	5166	5570873	
25a	3397089	5570863	5155	5570863	
26a	3397092	5570852	5163	5570852	
27a	3397100	5570846	5208	5570846	
28a	3397110	5570840	5190	5570840	
30a	3397119	5570835	5153	5570835	
31a	3397127	5570827	5156	5570827	
32a	3397133	5570818	5754	5570818	
33a	3397140	5570809	5146	5570809	
34a	3397147	5570801	5186	5570801	
35a	3397154	5570792	5224	5570792	
38a	3397160	5570783	5217	5570783	
39a	3397167	5570774	5151	5570774	

He [ppb]: Angezeigte Heliumkonzentration

He [ppb] kor.: Korrigierte Heliumkonzentration

He Hintergrund [ppb]: Mittlere Hintergrundkonzentration des Heliums der unbeeinflussten Bodenluft

Daten der Langzeitmessungen im UG Raum Koblenz

	Standort 1	$r^{33}96685$	$h^{55}70548$	
	Standort 2	$r^{33}96620$	$h^{55}70623$	
	Standort 3	$r^{33}97052$	$h^{60}70819$	
24 h Messung			Datum: 28.08. bis 29.08.2007	
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.
28.08.2007 09:40	1	11a	5612	5638
28.08.2007 10:15	1	p19b	5538	5559
28.08.2007 10:40	1	p3	5718	5750
28.08.2007 11:10	1	p49a	5826	5865
28.08.2007 11:38	1	p44a	5425	5438
28.08.2007 12:09	1	p30a	5369	5379
28.08.2007 12:38	1	p48a	5421	5434
28.08.2007 13:08	1	p11b	5449	5464
28.08.2007 13:38	1	p12b	5417	5430
28.08.2007 14:09	1	p3b	5519	5539
28.08.2007 14:39	1	p8b	5451	5466
28.08.2007 15:08	1	p7b	5947	5995
28.08.2007 15:38	1	p15b	5447	5462
28.08.2007 16:08	1	p2B	5478	5495
28.08.2007 16:38	1	p16B	5427	5441
28.08.2007 17:07	1	p29B	5505	5523
28.08.2007 17:38	1	p33B	5430	5444
28.08.2007 18:09	1	p44B	5668	5698
28.08.2007 18:42	1	p27a	5568	5591
28.08.2007 19:41	1	p15a	5427	5440
28.08.2007 20:12	1	p39a	5603	5628
28.08.2007 20:43	1	p21a	5587	5611
28.08.2007 21:45	1	p3	5363	5373
28.08.2007 22:17	1	p36a	5368	5378
28.08.2007 23:00	1	p42B	5311	5317
28.08.2007 23:30	1	p25b	5572	5595
28.08.2007 23:59	1	p48a	5297	5302
29.08.2007 00:32	1	p47a	5370	5380
29.08.2007 01:03	1	p23a	5437	5451
29.08.2007 01:34	1	p9	5359	5368
29.08.2007 02:03	1	p33a	5227	5227
29.08.2007 02:38	1	p13	5360	5369
29.08.2007 03:16	1	p9b	5254	5256
29.08.2007 03:59	1	p1b	5340	5348

24 h Messung			Datum: 28.08. bis 29.08.2007		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
29.08.2007 04:18	1	p4b	5329	5336	
29.08.2007 04:40	1	p23b	5412	5368	
29.08.2007 05:15	1	p16b	5293	5298	
29.08.2007 05:38	1	p13b	5309	5315	
29.08.2007 06:15	1	p6	5322	5329	
29.08.2007 06:38	1	p44a	5260	5262	
29.08.2007 07:16	1	p2b	5311	5317	
29.08.2007 07:40	1	p15a	5245	5247	
29.08.2007 08:10	1	p35b	5241	5242	
29.08.2007 08:42	1	p41a	5264	5267	
29.08.2007 09:10	1	p38b	5306	5312	
29.08.2007 09:35	1	p11a	5342	5350	
28.08.2007 10:20	2	p23a	5581	5604	
28.08.2007 10:45	2	p7	5212	5212	
28.08.2007 11:12	2	p4	5289	5294	
28.08.2007 11:42	2	p52a	5269	5272	
28.08.2007 12:11	2	p42a	5258	5260	
28.08.2007 12:42	2	p25b	5364	5373	
28.08.2007 13:13	2	p22b	5385	5396	
28.08.2007 13:44	2	p4b	5217	5216	
28.08.2007 14:11	2	p16b	5405	5417	
28.08.2007 14:41	2	p9b	5295	5300	
28.08.2007 15:11	2	p18b	5345	5353	
28.08.2007 15:41	2	p23B	5306	5312	
28.08.2007 16:11	2	p14B	5314	5320	
28.08.2007 16:41	2	p15B	5364	5373	
28.08.2007 17:10	2	p32B	5351	5359	
28.08.2007 17:40	2	p34B	5314	5320	
28.08.2007 18:12	2	p41B	5265	5268	
28.08.2007 18:45	2	p29a	5348	5357	
28.08.2007 19:15	2	p20a	5466	5482	
28.08.2007 19:44	2	p24a	5431	5445	
28.08.2007 20:15	2	p46a	5434	5448	
28.08.2007 20:46	2	p41a	5422	5435	
28.08.2007 21:21	2	p50a	5348	5357	
28.08.2007 21:50	2	p4	5280	5284	
28.08.2007 22:18	2	p7	5256	5258	
28.08.2007 23:05	2	p50	5329	5336	
28.08.2007 23:32	2	p55a	5507	5525	
29.08.2007 00:02	2	p40B	5369	5379	

24 h Messung			Datum: 28.08. bis 29.08.2007		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
29.08.2007 00:37	2	p22a	5346	5355	
29.08.2007 01:06	2	p49a	5377	5387	
29.08.2007 01:40	2	p34a	5262	5265	
29.08.2007 02:10	2	p10B	5406	5419	
29.08.2007 02:39	2	p8b	5234	5235	
29.08.2007 03:13	2	p7b	5314	5320	
29.08.2007 03:43	2	p15b	5217	5216	
29.08.2007 04:15	2	p12b	5237	5238	
29.08.2007 04:42	2	p22b	5225	5225	
29.08.2007 05:12	2	p17b	5278	5282	
29.08.2007 05:40	2	p29a	5242	5243	
29.08.2007 06:12	2	p43a	5263	5266	
29.08.2007 06:41	2	p50a	5225	5225	
29.08.2007 07:14	2	p44b	5233	5234	
29.08.2007 07:44	2	p28a	5259	5262	
29.08.2007 08:12	2	p15b	5228	5229	
29.08.2007 08:45	2	p46a	5244	5246	
29.08.2007 09:14	2	p32b	5251	5253	
29.08.2007 09:38	2	p25b	5227	5228	
28.08.2007 10:05	3	p12a	5233	5234	
28.08.2007 10:30	3	p31a	5726	5759	
28.08.2007 10:50	3	p10	5219	5219	
28.08.2007 11:18	3	p34a	5492	5510	
28.08.2007 11:40	3	p47a	5268	5271	
28.08.2007 12:18	3	p50	5282	5286	
28.08.2007 12:48	3	p33a	5295	5300	
28.08.2007 13:21	3	p1b	5273	5277	
28.08.2007 13:50	3	p13b	5283	5287	
28.08.2007 14:19	3	p17b	5770	5806	
28.08.2007 14:48	3	P13b	5226	5227	
28.08.2007 15:18	3	p20b	5268	5271	
28.08.2007 15:48	3	p24B	5205	5204	
28.08.2007 16:08	3	p25B	5225	5225	
28.08.2007 16:48	3	p30B	5232	5233	
28.08.2007 17:17	3	p35B	5355	5364	
28.08.2007 17:48	3	p38B	5242	5243	
28.08.2007 18:15	3	p28a	5274	5277	
28.08.2007 18:45	3	p6	5340	5348	
28.08.2007 19:13	3	p43a	5333	5340	
28.08.2007 20:17	3	p11a	5267	5270	

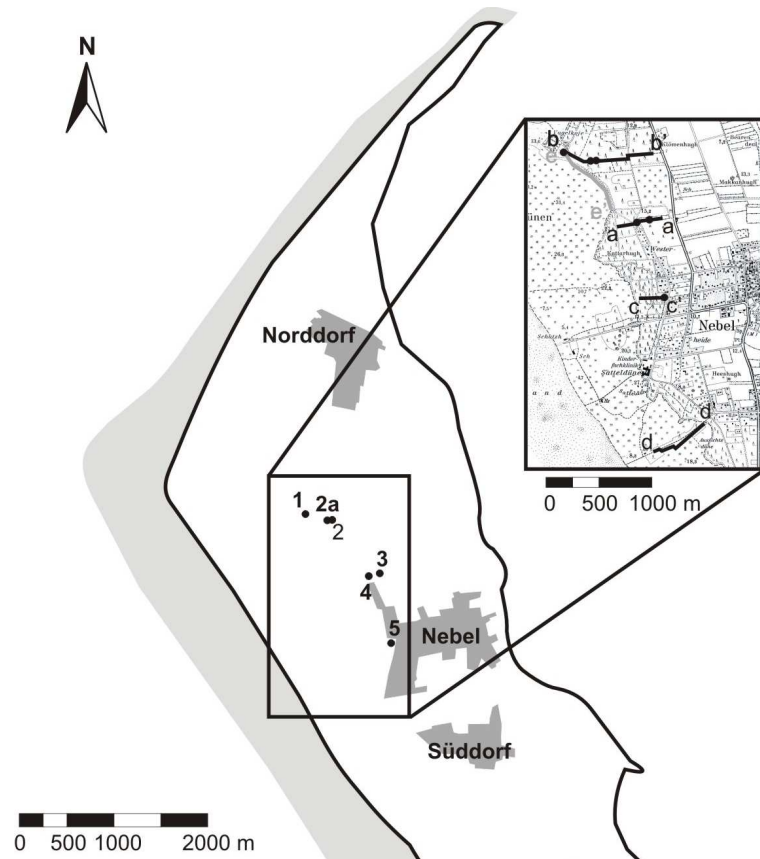
24 h Messung			Datum: 28.08. bis 29.08.2007		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
28.08.2007 20:45	3	p44a	5198	5197	
28.08.2007 21:18	3	p2neu	5460	5475	
28.08.2007 21:58	3	p30a	5231	5232	
28.08.2007 22:22	3	p42a	5219	5219	
28.08.2007 22:50	3	p27B	5262	5265	
28.08.2007 23:17	3	p31a	5264	5267	
28.08.2007 23:54	3	p52a	5270	5274	
29.08.2007 00:28	3	p19B	5260	5262	
29.08.2007 01:00	3	p35a	5391	5402	
29.08.2007 01:29	3	p37B	5320	5326	
29.08.2007 01:59	3	p39B	5307	5313	
29.08.2007 02:44	3	p11b	5238	5239	
29.08.2007 03:09	3	p18b	5196	5195	
29.08.2007 03:48	3	p20b	5214	5214	
29.08.2007 04:11	3	p3b	5229	5229	
29.08.2007 04:46	3	p24b	5223	5223	
29.08.2007 05:09	3	p38a	5219	5219	
29.08.2007 05:45	3	p39a	5232	5233	
29.08.2007 06:08	3	p24a	5221	5221	
29.08.2007 06:47	3	p27a	5241	5242	
29.08.2007 07:10	3	p20a	5242	5243	
29.08.2007 07:49	3	p14b	5247	5249	
29.08.2007 08:16	3	p21a	5227	5227	
29.08.2007 08:47	3	p8	5202	5201	
29.08.2007 09:15	3	PAA	5276	5280	
29.08.2007 09:42	3	p33b	5244	5246	

He [ppb]: Angezeigte Heliumkonzentration

He [ppb] kor.: Korrigierte Heliumkonzentration

A.3.2 Amrum

Lage der Profile zur Bodenluftmessung und der Standorte zur 24h Messung.



Heliumkonzentrationen der Bodenluft der Profile im UG Amrum

Profil: a-a'			Datum: 10.10.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
1	3457571	6058864	5174	5171	5208
2(neu)	3457550	6058867	5170	5166	
3	3457541	6058865	5211	5211	
4	3457536	6058873	5241	5242	
6	3457513	6058866	5240	5241	
7	3457515	6058867	5040	5028	
8	3457482	6058864	5215	5215	
9	3457482	6058867	5253	5255	
10	3457465	6058859	5243	5244	
11a	3457446	6058855	5219	5218	
12a	3457439	6058859	5245	5246	
13a	3457418	6058855	5186	5184	
14a	3457419	6058852	5177	5174	
15a	3457399	6058856	5154	5150	
20a	3457393	6058856	5335	5342	
21a	3457370	6058846	5325	5332	
22a	3457352	6058838	5278	5281	
23a	3457337	6058834	5222	5222	
24a	3457341	6058831	5195	5194	
25a	3457317	6058837	5208	5207	
26a	3457316	6058826	5152	5147	
27a	3457301	6058841	5180	5177	
30a	3457293	6058803	5217	5217	
31a	3457268	6058806	5217	5217	
32a	3457272	6058829	5316	5322	
33a	3457264	6058807	5202	5201	
34a	3457219	6058779	5254	5256	
53a	3457202	6058763	5232	5232	
36a	3457164	6058768	5324	5331	
38a	3457158	6058761	5294	5299	
39a	3457152	6058778	5195	5193	
40a	3457132	6058769	5241	5242	

Profil: b-b'			Datum: 11.10.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
3	3456664	6059489	5201	5200	5217
4	3456693	6059481	5250	5252	
5	3456712	6059463	5370	5380	
6	3456723	6059436	5287	5291	
7	3456739	6059436	5187	5185	
8	3456764	6059433	5257	5260	
9	3456784	6059407	5173	5170	
10	3456799	6059396	5288	5293	
13a	3456808	6059414	5165	5161	
14a	3456840	6059422	5232	5233	
15a	3456895	6059430	5168	5165	
20a	3456918	6059431	5217	5217	
21a	3456942	6059433	5594	5619	
22a	3456966	6059435	5240	5241	
23a	3456990	6059437	5326	5333	
26a	3457013	6059438	5190	5188	
27a	3457037	6059440	5129	5123	
28a	3457061	6059442	5275	5279	
29a	3457085	6059444	5297	5302	
30a	3457100	6059448	5205	5205	
31a	3457107	6059443	5221	5221	
32a	3457110	6059442	5171	5168	
33a	3457110	6059442	5778	5815	
35a	3457148	6059454	5266	5269	
36a	3457173	6059460	5252	5254	
38a	3457195	6059459	5262	5264	
39a	3457203	6059457	5206	5205	
40a	3457226	6059461	5210	5210	
41a	3457263	6059482	5245	5247	
42a	3457277	6059488	5214	5214	
43a	3457292	6059485	5281	5285	
46a	3457309	6059486	5275	5279	
47a	3457328	6059496	5274	5278	
48a	3457343	6059491	5278	5282	
49a	3457371	6059491	5227	5227	
50a	3457376	6059496	5303	5309	
51a	3457384	6059493	5137	5131	
52a	3457412	6059496	5129	5123	
53a	3457430	6059496	5150	5146	
54a	3457432	6059500	5166	5162	
55a	3457443	6059501	5170	5167	
21	3457454	6059506	5302	5307	
22	3457480	6059510	5410	5423	

Profil: c-c'			Datum: 20.10.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
2neu	3457313	6058118	5223	5224	5218
3	3457326	6058119	5221	5221	
4	3457339	6058120	5228	5228	
5	3457352	6058120	5229	5230	
6	3457365	6058121	5234	5235	
7	3457378	6058122	5242	5243	
8	3457391	6058123	5202	5201	
9	3457404	6058123	5229	5229	
10	3457417	6058124	5241	5242	
11a	3457430	6058125	5238	5239	
12a	3457443	6058126	5207	5207	
13a	3457456	6058126	5218	5218	
14a	3457470	6058127	5235	5236	
15a	3457483	6058128	5205	5204	
20a	3457496	6058129	5210	5210	
21a	3457509	6058130	5186	5184	
22a	3457522	6058130	5200	5199	
23a	3457535	6058131	5205	5204	
24a	3457548	6058132	5178	5175	
25a	3457561	6058133	5231	5231	
26a	3457574	6058133	5221	5221	

Profil: d-d'			Datum: 18.10.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
2neu	3457905	6056898	5253	5255	5239
3	3457906	6056896	5237	5238	
4	3457883	6056881	5261	5264	
5	3457875	6056876	5240	5241	
6	3457863	6056867	5260	5262	
7	3457847	6056888	5330	5337	
8	3457843	6056853	5206	5205	
9	3457830	6056824	5213	5212	
10	3457815	6056829	5240	5241	
11a	3457809	6056811	5265	5268	
12a	3457798	6056806	5238	5239	
13a	3457796	6056803	5237	5238	
14a	3457777	6056778	5239	5240	
15a	3457773	6056771	5238	5239	
20a	3457751	6056768	5270	5273	
21a	3457737	6056754	5190	5188	
22a	3457716	6056735	5249	5251	
23a	3457716	6056733	5242	5243	
24a	3457703	6056723	5240	5241	
25a	3457691	6056713	5247	5248	
26a	3457678	6056708	5222	5222	
27a	3457637	6056734	5224	5225	
28a	3457634	6056725	5252	5254	
29a	3457630	6056715	5247	5249	
30a	3457620	6056717	5239	5240	
31a	3457595	6056702	5240	5242	
32a	3457575	6056694	5236	5238	
33a	3457553	6056690	5234	5235	
34a	3457566	6056671	5248	5250	
35a	3457561	6056678	5232	5232	
36a	3457524	6056678	5234	5235	
39a	3457493	6056689	5233	5233	
40a	3457485	6056684	5215	5215	
38a	3457477	6056686	5244	5245	

Profil: e-e'			Datum: 15.10.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
6	3456665	6059481	5210	5209	5227
7	3456670	6054467	5263	5266	
8	3456683	6059453	5418	5430	
9	3456689	6059440	5158	5153	
10	3456694	6059401	5197	5196	
11a	3456715	6059379	5226	5226	
12a	3456721	6059384	5270	5273	
13a	3456743	6059377	5168	5165	
14a	3456756	6059373	5187	5185	
15a	3456775	6059368	5229	5230	
20a	3456787	6059357	5192	5190	
21a	3456792	6059341	5200	5199	
22a	3456807	6059317	5240	5241	
23a	3456820	6059315	5206	5205	
24a	3456819	6059321	5234	5235	
25a	3456850	6059296	5254	5256	
26a	3456866	6059296	5227	5227	
27a	3456883	6059282	5268	5272	
28a	3456888	6059279	5255	5257	
29a	3456900	6059273	5225	5225	
31a	3456901	6059257	5252	5254	
30a	3456937	6059257	5224	5224	
32a	3456954	6059238	5215	5215	
33a	3456961	6059224	5231	5232	
34a	3456979	6059217	5252	5254	
35a	3456988	6059201	5234	5235	
36a	3457000	6059192	5208	5207	
38a	3457015	6059168	5214	5213	
39a	3457024	6059161	5250	5252	
40a	3457033	6059144	5246	5248	
41a	3457041	6059132	5249	5250	
42a	3457055	6059091	5236	5237	
44a	3457046	6059114	5243	5245	
43a	3457051	6059081	5220	5220	
45a	3457056	6059076	5188	5186	
46a	3457070	6059032	5213	5213	
47a	3457067	6059000	5262	5264	
48a	3457079	6058996	5241	5243	
49a	3457081	6058983	5238	5239	
50a	3457089	6058964	5236	5237	
51a	3457098	6058945	5230	5230	

He [ppb]: Angezeigte Heliumkonzentration

He [ppb] kor.: Korrigierte Heliumkonzentration

He Hintergrund [ppb]: Mittlere Hintergrundkonzentration des Heliums der unbeeinflussten Bodenluft

Daten der Langzeitmessungen im UG Amrum

		Standort 3	r^{34} 57419	h^{60} 58852	
		Standort 4	r^{34} 57317	h^{60} 58337	
24 h Messung		Datum: 12.10. bis 13.10.2006			
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
12.10.2006 06:20	3	1	5216	5216	
12.10.2006 07:20	3	3	5221	5222	
12.10.2006 08:25	3	6	5280	5284	
12.10.2006 09:20	3	9	5317	5323	
12.10.2006 10:32	3	12a	5269	5273	
12.10.2006 11:38	3	14a	5223	5223	
12.10.2006 12:32	3	21a	5284	5289	
12.10.2006 13:30	3	28a	5265	5268	
12.10.2006 14:40	3	31a	5179	5177	
12.10.2006 15:35	3	33a	5063	5053	
12.10.2006 16:28	3	35a	5150	5145	
12.10.2006 17:37	3	39a	5601	5625	
12.10.2006 18:44	3	43a	5218	5218	
12.10.2006 19:42	3	47a	5234	5234	
12.10.2006 20:45	3	49a	5188	5186	
12.10.2006 21:40	3	52a	5651	5651	
12.10.2006 23:40	3	4-1	5223	5223	
13.10.2006 00:44	3	7-1	5218	5218	
13.10.2006 01:42	3	10-1	5244	5246	
13.10.2006 02:41	3	13a-1	5315	5321	
13.10.2006 03:41	3	20a-1	5228	5228	
13.10.2006 04:45	3	23a-1	5256	5258	
13.10.2006 05:47	3	26a-1	5217	5217	
12.10.2006 06:25	4	2(neu)	5229	5229	
12.10.2006 07:23	4	4	5216	5216	
12.10.2006 08:28	4	7	5261	5263	
12.10.2006 09:23	4	10	5230	5231	

24 h Messung			Datum: 12.10. bis 13.10.2006	
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.
12.10.2006 10:35	4	13a	5218	5218
12.10.2006 11:42	4	15a	5258	5260
12.10.2006 12:35	4	22a	5201	5200
12.10.2006 13:33	4	29a	5255	5257
12.10.2006 14:44	4	32a	5272	5275
12.10.2006 15:37	4	34a	5250	5252
12.10.2006 16:30	4	36a	5271	5274
12.10.2006 17:40	4	40a	5138	5133
12.10.2006 18:51	4	44a	5535	5555
12.10.2006 19:44	4	48a	5205	5204
12.10.2006 20:58	4	50a	5222	5222
12.10.2006 22:43	4	2neu-1	5318	5325
12.10.2006 23:42	4	5-1	5331	5338
13.10.2006 00:46	4	8-1	5292	5296
13.10.2006 01:44	4	11a-1	5246	5247
13.10.2006 02:44	4	14a-1	5311	5317
13.10.2006 03:43	4	21a-1	5157	5153
13.10.2006 04:47	4	24a-1	5279	5283
13.10.2006 05:50	4	27a-1	5255	5257

Standort 1	r^{34} 56662	h^{60} 59445
Standort 2	r^{34} 56926	h^{60} 59400
Standort 2a	r^{34} 56926	h^{60} 59993

10 h Messung			Datum: 16.10.2006	
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.
16.10.2006 08:38	1	2neu	5238	5239
16.10.2006 09:02	1	6	5215	5214
16.10.2006 09:25	1	10	5321	5328
16.10.2006 09:44	1	13a	5214	5214
16.10.2006 10:01	1	20a	5219	5219
16.10.2006 10:35	1	24a	5226	5227
16.10.2006 11:10	1	27a	5227	5227
16.10.2006 12:12	1	31a	5240	5241
16.10.2006 13:19	1	35a	5253	5255
16.10.2006 14:41	1	39a	5222	5222
16.10.2006 15:16	1	42a	5227	5227
16.10.2006 15:45	1	45a	5292	5296
16.10.2006 16:05	1	48a	5256	5258

10 h Messung				Datum: 16.10.2006	
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
16.10.2006 16:30	1	51a	5356	5365	
16.10.2006 16:52	1	54a	5298	5303	
16.10.2006 18:31	1	47a	5194	5192	
16.10.2006 08:40	2	3	5206	5205	
16.10.2006 09:04	2	7	5312	5317	
16.10.2006 09:28	2	11a	5195	5194	
16.10.2006 09:47	2	14a	5229	5229	
16.10.2006 10:03	2	21a	5215	5214	
16.10.2006 10:36	2	25a	5250	5252	
16.10.2006 11:12	2	28a	5235	5236	
16.10.2006 12:16	2	32a	5264	5267	
16.10.2006 13:24	2	36a	5301	5307	
16.10.2006 14:43	2	40a	5189	5187	
16.10.2006 15:17	2	44a	5177	5174	
16.10.2006 15:50	2	46a	5221	5221	
16.10.2006 16:07	2	49a	5197	5196	
16.10.2006 16:32	2	52a	5250	5252	
16.10.2006 16:54	2	55a	5313	5319	
16.10.2006 18:32	2	48a	5221	5221	
16.10.2006 08:44	2a	4	5195	5194	
16.10.2006 09:04	2a	9	5392	5403	
16.10.2006 09:24	2a	12a	5230	5230	
16.10.2006 09:45	2a	15a	5201	5200	
16.10.2006 10:03	2a	22a	5042	5030	
16.10.2006 10:40	2a	26a	5219	5219	
16.10.2006 11:08	2a	29a	5250	5252	
16.10.2006 12:19	2a	33a	5278	5282	
16.10.2006 13:29	2a	38a	5293	5298	
16.10.2006 14:47	2a	41a	5234	5235	
16.10.2006 15:20	2a	43a	5215	5214	
16.10.2006 15:52	2a	47a	5274	5277	
16.10.2006 16:12	2a	50a	5175	5172	
16.10.2006 16:35	2a	53a	5288	5292	
16.10.2006 16:58	2a	1b	5262	5265	
16.10.2006 18:35	2a	5b	5238	5239	

	Standort 1	$r^{34}56662$	$h^{60}59445$		
	Standort 2	$r^{34}56926$	$h^{60}59393$		
	Standort 3	$r^{34}57419$	$h^{60}58852$		
	Standort 4	$r^{34}57317$	$h^{60}58337$		
	Standort 5	$r^{34}57618$	$h^{60}58109$		
24 h Messung			Datum: 22.10. bis 23.10.2006		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
22.10.06 7:45	1	2neu	5235	5236	
22.10.06 8:12	1	7	5218	5218	
22.10.06 8:41	1	11a	5232	5232	
22.10.06 9:16	1	20a	5221	5221	
22.10.06 10:05	1	26a	5882	5925	
22.10.06 11:04	1	31a	5148	5144	
22.10.06 12:05	1	36a	5243	5245	
22.10.06 13:07	1	43a	5272	5276	
22.10.06 13:54	1	48a	5220	5220	
22.10.06 14:21	1	53a	5226	5226	
22.10.06 14:48	1	3b	5241	5242	
22.10.06 15:55	1	2neu	5195	5193	
22.10.06 16:48	1	1b	5184	5181	
22.10.06 17:46	1	6b	5197	5195	
22.10.06 18:45	1	11b	5214	5214	
22.10.06 19:45	1	16b	5225	5226	
22.10.06 20:25	1	18b	5154	5150	
22.10.06 21:03	1	26b	5140	5135	
22.10.06 21:41	1	32b	5154	5150	
22.10.06 22:33	1	37b	5174	5171	
22.10.06 23:14	1	42b	5121	5115	
23.10.06 0:20	1	1b	5144	5139	
23.10.06 1:31	1	6b	5201	5199	
23.10.06 2:05	1	12b	5225	5225	
23.10.06 2:43	1	17b	5268	5271	
23.10.06 3:12	1	23b	5342	5350	
23.10.06 4:04	1	28b	5146	5142	
23.10.06 5:06	1	33b	5132	5126	
22.10.06 7:48	2	3	5225,41435	5225,76628	
22.10.06 8:15	2	8	5175	5172	
22.10.06 8:45	2	12a	5195	5194	
22.10.06 9:20	2	21a	5183	5181	
22.10.06 10:10	2	27a	5209	5209	
22.10.06 11:10	2	32a	5243	5245	

24 h Messung			Datum: 22.10. bis 23.10.2006		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
22.10.06 12:11	2	38a	5145	5140	
22.10.06 13:12	2	44a	5262	5267	
22.10.06 14:00	2	49a	5211	5210	
22.10.06 14:26	2	54a	5204	5203	
22.10.06 14:52	2	5b	5379	5390	
22.10.06 15:59	2	3	5151	5147	
22.10.06 16:53	2	2b	5180	5178	
22.10.06 17:53	2	7b	5199	5198	
22.10.06 18:50	2	12b	5152	5147	
22.10.06 19:50	2	17b	5197	5196	
22.10.06 20:30	2	22b	5148	5143	
22.10.06 21:08	2	27b	5128	5122	
22.10.06 21:44	2	33b	5122	5115	
22.10.06 22:36	2	38b	5170	5167	
22.10.06 23:18	2	43b	5101	5093	
23.10.06 0:25	2	2b	5154	5150	
23.10.06 1:36	2	7b	5126	5120	
23.10.06 2:09	2	13b	5306	5311	
23.10.06 2:45	2	18b	5253	5256	
23.10.06 3:15	2	24b	5283	5288	
23.10.06 4:06	2	29b	5156	5152	
23.10.06 5:09	2	34b	5143	5138	
22.10.06 7:45	3	4	5218	5218	
22.10.06 8:16	3	9	5199	5197	
22.10.06 8:54	3	13a	5212	5211	
22.10.06 9:29	3	22a	5218	5218	
22.10.06 10:17	3	28a	5236	5237	
22.10.06 11:17	3	33a	5224	5225	
22.10.06 12:17	3	39a	5206	5205	
22.10.06 13:20	3	45a	5212	5211	
22.10.06 14:05	3	50a	5190	5188	
22.10.06 14:33	3	55a	5254	5257	
22.10.06 15:01	3	7b	5210	5209	
22.10.06 16:06	3	4	5218	5218	
22.10.06 17:00	3	3b	5230	5231	
22.10.06 18:00	3	8b	5228	5229	
22.10.06 18:58	3	13b	5177	5174	
22.10.06 19:57	3	21b	5256	52595	
22.10.06 20:37	3	23b	5232	5233	
22.10.06 21:14	3	28b	5178	5175	

24 h Messung			Datum: 22.10. bis 23.10.2006		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
22.10.06 21:53	3	34b	5183	5181	
22.10.06 22:43	3	39b	5206	5205	
22.10.06 23:32	3	45b	5195	5193	
23.10.06 0:30	3	3b	5369	5379	
23.10.06 1:44	3	8b	5176	5173	
23.10.06 2:14	3	14b	5179	5176	
23.10.06 2:50	3	19b	5259	5261	
23.10.06 3:17	3	25b	4979	4964	
23.10.06 4:13	3	30b	5220	5220	
23.10.06 5:14	3	35b	5202	5200	
22.10.06 7:59	4	5	5230	5231	
22.10.06 8:21	4	10	5205	5201	
22.10.06 8:50	4	14a	5185	5183	
22.10.06 9:31	4	23a	5238	5240	
22.10.06 10:20	4	29a	5239	5240	
22.10.06 11:20	4	34a	5208	5207	
22.10.06 12:21	4	40a	5202	5200	
22.10.06 13:25	4	46a	5243	5245	
22.10.06 14:08	4	51a	5153	5149	
22.10.06 14:33	4	1b	5233	5234	
22.10.06 15:04	4	10b	5221	5221	
22.10.06 16:09	4	5	5146	5141	
22.10.06 17:04	4	4b	5173	5170	
22.10.06 18:03	4	9b	5183	5180	
22.10.06 19:01	4	14b	5236	5236	
22.10.06 20:01	4	19b	5233	5234	
22.10.06 20:40	4	24b	5190	5188	
22.10.06 21:20	4	30b	5093	5084	
22.10.06 21:58	4	35b	5193	5192	
22.10.06 22:47	4	40b	5142	5137	
23.10.06 0:33	4	4b	5246	5248	
23.10.06 1:47	4	10b	5230	5230	
23.10.06 2:17	4	15b	5295	5300	
23.10.06 2:52	4	20b	5172	5170	
23.10.06 3:23	4	26b	5323	5330	
23.10.06 4:14	4	31b	5170	5168	
23.10.06 5:17	4	36b	5106	5099	
22.10.06 7:56	5	6	5196	5195	
22.10.06 9:02	5	15a	5241	5243	
22.10.06 9:38	5	24a	5211	5210	

24 h Messung			Datum: 22.10. bis 23.10.2006		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
22.10.06 10:28	5	30a	5239	52406	
22.10.06 11:27	5	35a	5203	5202	
22.10.06 12:28	5	42a	5169	5166	
22.10.06 13:30	5	47a	5214	5213	
22.10.06 14:14	5	52a	5181	5178	
22.10.06 14:41	5	2b	5212	5211	
22.10.06 15:11	5	11b	5293	5298	
22.10.06 16:14	5	6	5186	5184	
22.10.06 17:10	5	5b	5172	5169	
22.10.06 18:09	5	10b	5159	5155	
22.10.06 19:08	5	15b	5180	5175	
22.10.06 20:08	5	20b	5196	5195	
22.10.06 20:49	5	25b	5210	5210	
22.10.06 21:28	5	31b	5007	4993	
22.10.06 22:04	5	36b	5112	5105	
22.10.06 22:52	5	41b	5176	5173	
23.10.06 0:40	5	5b	5130	5124	
23.10.06 1:51	5	11b	5165	5162	
23.10.06 2:22	5	16b	5088	5080	
23.10.06 2:55	5	22b	5211	5210	
23.10.06 3:26	5	27b	5185	5183	
23.10.06 4:17	5	32b	5160	5156	
23.10.06 5:21	5	37b	5158	5154	

He [ppb]: Angezeigte Heliumkonzentration

He [ppb] kor.: Korrigierte Heliumkonzentration

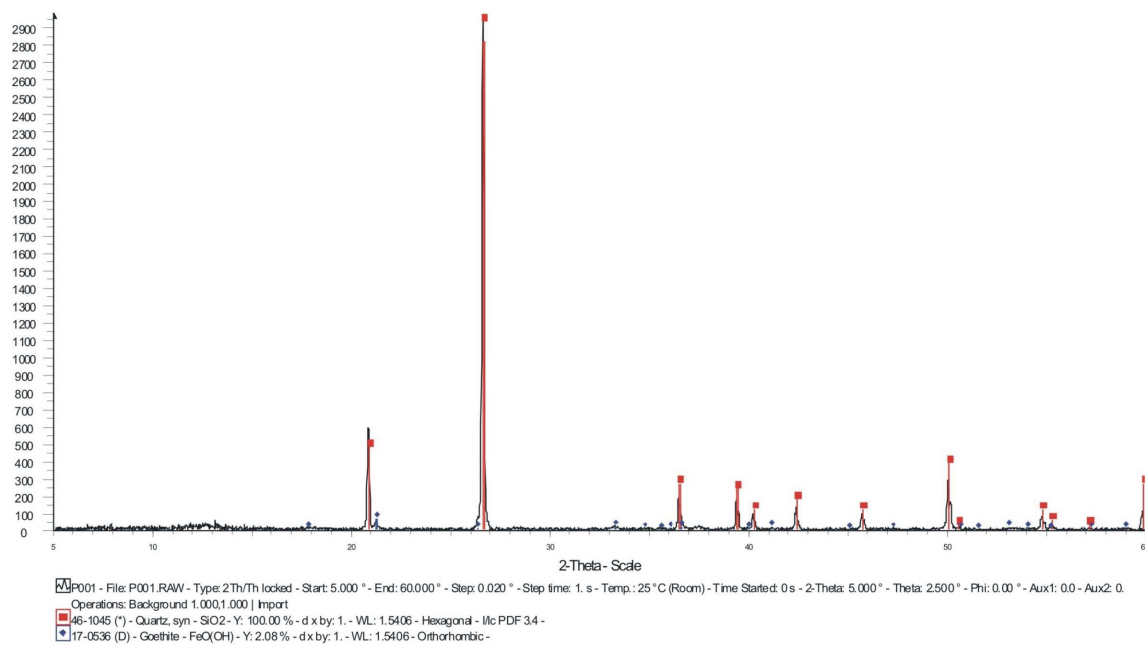
A.4 Ergebnisse der RFA und RDA Analysen

A.4.1 Raum Koblenz

Probe 101	Aufschluss: Bo15	
Tonstein mit Fe-	Rechtswert	Hochwert
Mieralisationen	3403916	5567552



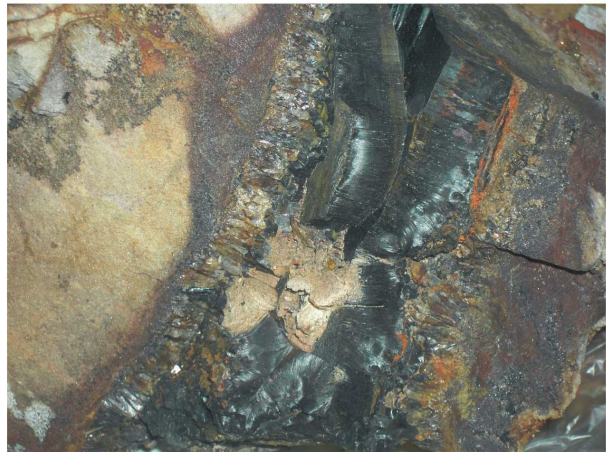
Handstück etwa 30 cm lang.



Probe: 136
Quarz mit Fe-
mineralen

Bo117
Rechtswert
3394179

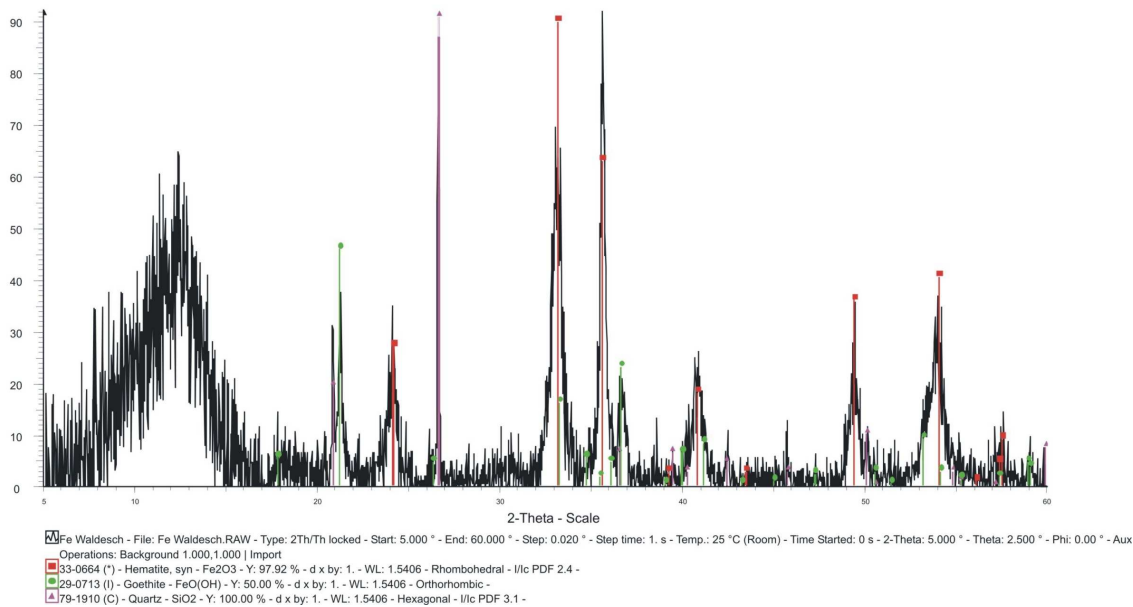
Hochwert
5568166



Die Länge des Bildauschnittes entspricht etwa 10 cm.

Element	Konzentration
Na2O	< 0,092 %
MgO	0,069 %
Al2O3	< 0,019 %
SiO2	2,227 %
P2O5	0,0445 %
S	< 0,0030 %
Cl	< 0,00001 %
K2O	0,1629 %
CaO	< 0,014 %
TiO2	0,01064 %
MnO	1,963 %
Fe2O3	98,19 %

Element	Konzentration
V	31,3 µg/g
Cr	501,7 µg/g
Co	< 45 µg/g
Ni	111 µg/g
Cu	598 µg/g
Zn	202,9 µg/g
Ga	< 3,3 µg/g
Ge	< 4,0 µg/g
As	152,1 µg/g
Se	< 0,8 µg/g
Br	< 3,6 µg/g
Rb	< 4,5 µg/g
Sr	15,2 µg/g
Y	23,8 µg/g
Zr	5,5 µg/g
Nb	< 2,2 µg/g
Mo	< 1,5 µg/g
Ag	< 1,6 µg/g
Cd	2,1 µg/g
In	< 0,3 µg/g
Sn	0,7 µg/g
Sb	< 0,8 µg/g
Te	< 2,5 µg/g
I	3,2 µg/g
Cs	< 2,7 µg/g
Ba	768,9 µg/g
La	< 4,7 µg/g
Ce	10,4 µg/g
Pr	< 12 µg/g
Nd	44,2 µg/g
Sm	94,2 µg/g
Yb	< 25 µg/g
Hf	< 0,1 µg/g
Ta	< 59 µg/g
W	108 µg/g
Hg	< 6,9 µg/g
Tl	< 3,2 µg/g
Pb	< 15 µg/g
Bi	< 5,0 µg/g
Th	< 19 µg/g
U	9,9 µg/g



Probe: 381
Konglomerat

Aufschluss: Bo215
Rechtswert
3397022

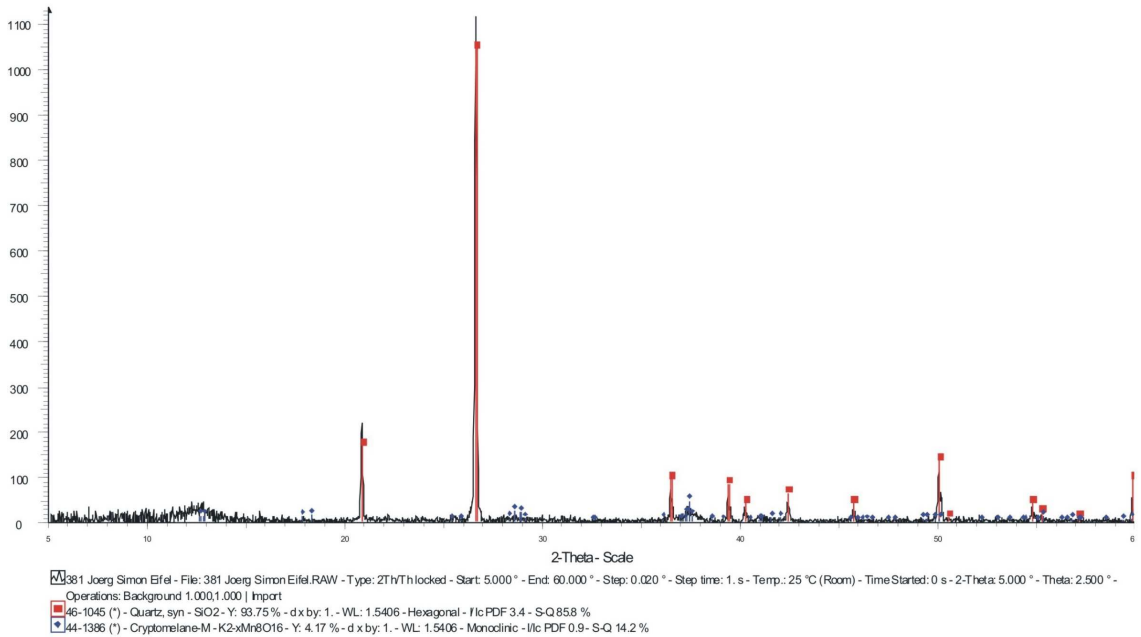
Hochwert
5570266



Das Handstück ist etwa 25 cm lang.

Element	Konzentration
Na2O	0,184 %
MgO	< 0,049 %
Al2O3	2,345 %
SiO2	58,73 %
P2O5	0,0819 %
S	0,01673 %
Cl	< 0,00001 %
K2O	0,3648 %
CaO	0,0605 %
TiO2	0,521 %
MnO	32,7 %
Fe2O3	0,9841 %

Element	Konzentration
V	< 51 µg/g
Cr	83 µg/g
Co	4227 µg/g
Ni	228 µg/g
Cu	63,1 µg/g
Zn	689,2 µg/g
Ga	< 1,1 µg/g
Ge	< 4,3 µg/g
As	6,6 µg/g
Se	< 0,5 µg/g
Br	< 2,1 µg/g
Rb	20,4 µg/g
Sr	44,9 µg/g
Y	157,2 µg/g
Zr	205,4 µg/g
Nb	6 µg/g
Mo	< 1,5 µg/g
Ag	< 2,0 µg/g
Cd	39,6 µg/g
In	12,8 µg/g
Sn	40,5 µg/g
Sb	12,7 µg/g
Te	269,2 µg/g
I	< 0,2 µg/g
Cs	801,5 µg/g
Ba	58570 µg/g
La	12,5 µg/g
Ce	372,3 µg/g
Pr	711 µg/g
Nd	< 200 µg/g
Sm	102,5 µg/g
Yb	41,4 µg/g
Hf	< 0,1 µg/g
Ta	< 12 µg/g
W	1292 µg/g
Hg	< 7,4 µg/g
Tl	19,4 µg/g
Pb	8,7 µg/g
Bi	5,8 µg/g
Th	3,3 µg/g
U	5,9 µg/g



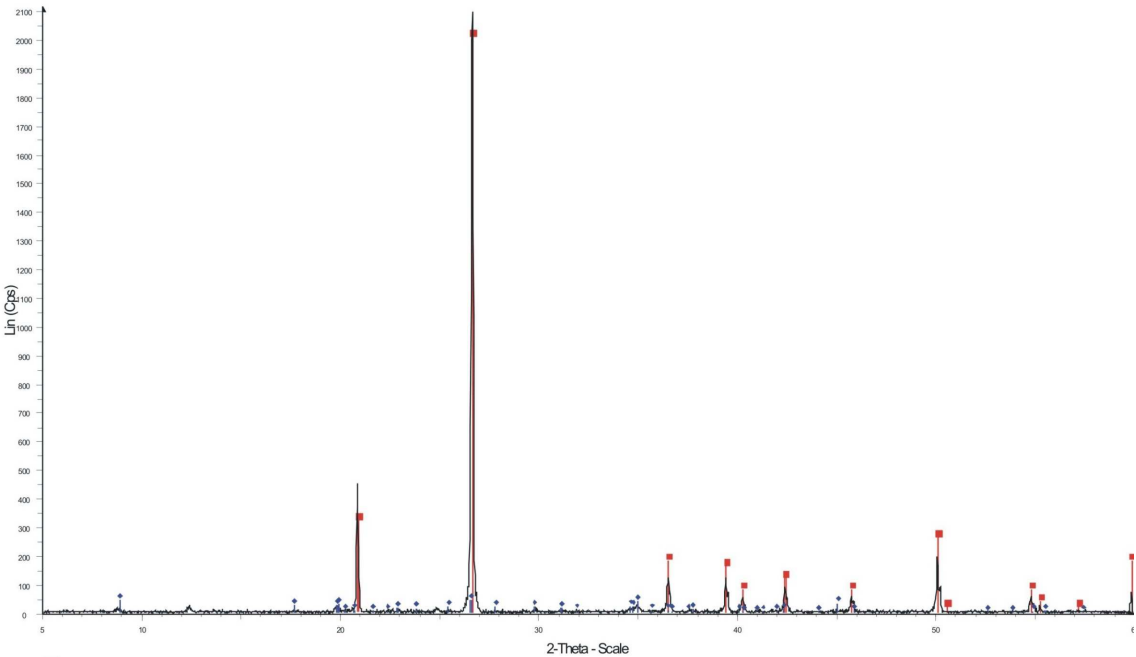
Probe: 445 Aufschluss: Bo280
Quarzit. Sandstein Rechtswert Hochwert
3397319 5572381



Das Handstück ist etwa 10 cm Breit

Element	Konzentration
Na2O	0,114 %
MgO	0,391 %
Al2O3	12,88 %
SiO2	79,33 %
P2O5	0,0234 %
S	0,0212 %
Cl	< 0,00001 %
K2O	2,078 %
CaO	0,0313 %
TiO2	0,4919 %
MnO	0,00166 %
Fe2O3	0,3561 %

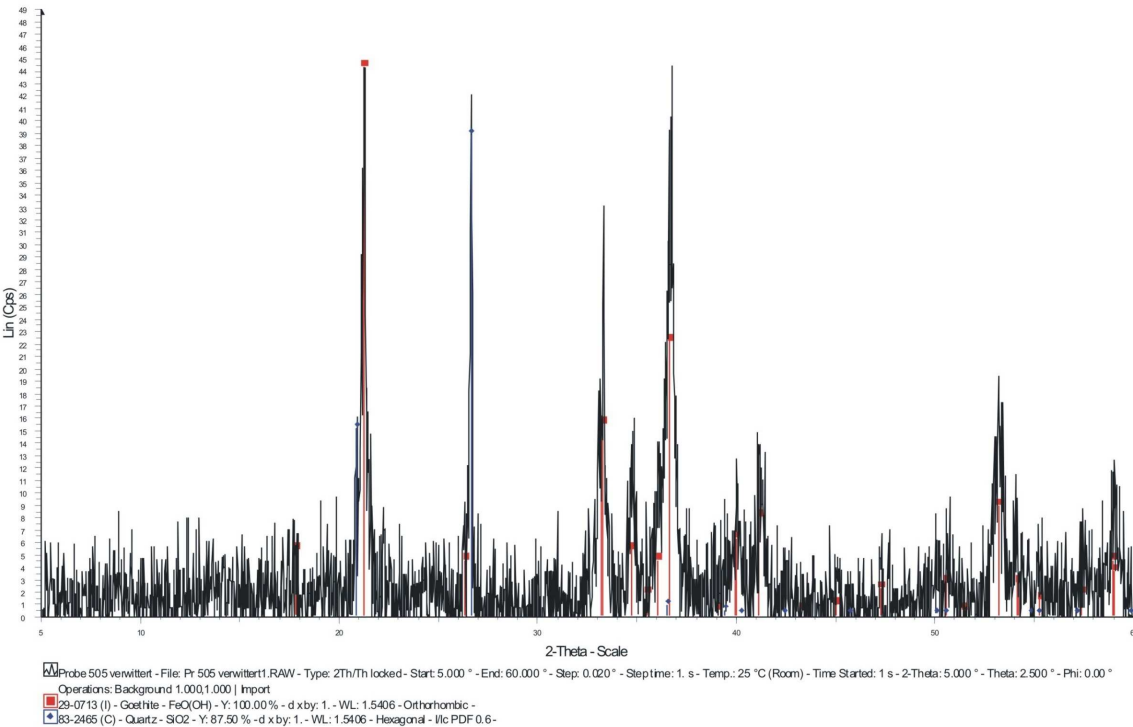
Element	Konzentration
V	47,4 µg/g
Cr	201,4 µg/g
Co	65,1 µg/g
Ni	13,7 µg/g
Cu	3,2 µg/g
Zn	20,7 µg/g
Ga	10,3 µg/g
Ge	0,7 µg/g
As	2,1 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	< 0,6 µg/g
Rb	62,8 µg/g
Sr	43,5 µg/g
Y	26,1 µg/g
Zr	334 µg/g
Nb	9,5 µg/g
Mo	< 0,6 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	2,1 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	4,1 µg/g
Sb	6,1 µg/g
Te	22,8 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	22,6 µg/g
Ba	323,3 µg/g
La	53,4 µg/g
Ce	111,4 µg/g
Pr	77,6 µg/g
Nd	14,1 µg/g
Sm	< 2,7 µg/g
Yb	2,2 µg/g
Hf	9,7 µg/g
Ta	< 2,7 µg/g
W	407,7 µg/g
Hg	< 2,1 µg/g
Tl	2,1 µg/g
Pb	201,1 µg/g
Bi	< 0,9 µg/g
Th	12,5 µg/g
U	4,3 µg/g



Probe 445 - File Probe 445aRAW - Type: 2ThTh locked - Start: 5.000 ° - End: 60.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 5.000 ° - Theta: 2.500 ° - Phi: 0.00 ° - Aux1: 0.0 - Au
Operations: Background 1.000.1.000 | Import
46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 95.83 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - Ilc PDF 3.4 -
07-0032 (D) - Muscovite 2M1, syn - KAl2(SBAIO1(OH)2 - Y: 2.08 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monodinic -

Probe: 505	Aufschluss: Bo331			
Eisenerz verwittert	Rechtswert	Hochwert	Element	Konzentration
	3397664	5572647	V	30,5 µg/g
			Cr	91,4 µg/g
			Co	< 35 µg/g
			Ni	270 µg/g
			Cu	88,5 µg/g
			Zn	104 µg/g
			Ga	< 2,7 µg/g
			Ge	< 3,0 µg/g
			As	233 µg/g
			Se	< 0,6 µg/g
			Br	< 2,8 µg/g
			Rb	22,9 µg/g
			Sr	45,7 µg/g
			Y	24,4 µg/g
			Zr	54,6 µg/g
			Nb	2,1 µg/g
			Mo	< 1,2 µg/g
			Ag	< 1,1 µg/g
			Cd	1,1 µg/g
			In	< 0,2 µg/g
			Sn	2,7 µg/g
			Sb	4,5 µg/g
			Te	< 2,2 µg/g
			I	< 1,5 µg/g
			Cs	< 2,3 µg/g
			Ba	123,9 µg/g
			La	34,9 µg/g
			Ce	87 µg/g
			Pr	< 10 µg/g
			Nd	65,7 µg/g
			Sm	68,2 µg/g
			Yb	< 23 µg/g
			Hf	< 0,1 µg/g
			Ta	< 22 µg/g
			W	105 µg/g
			Hg	< 5,4 µg/g
			Tl	3,1 µg/g
			Pb	219,6 µg/g
			Bi	< 4,5 µg/g
			Th	< 13 µg/g
			U	10,9 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	< 0,094 %
MgO	0,118 %
Al2O3	< 0,019 %
SiO2	8,185 %
P2O5	0,9616 %
S	< 0,0030 %
Cl	0,00126 %
K2O	0,5347 %
CaO	0,02733 %
TiO2	0,1173 %
MnO	0,03091 %
Fe2O3	70,55 %



Probe: 505
Eisenerz frisch

Aufschluss: Bo331
Rechtswert
3397664

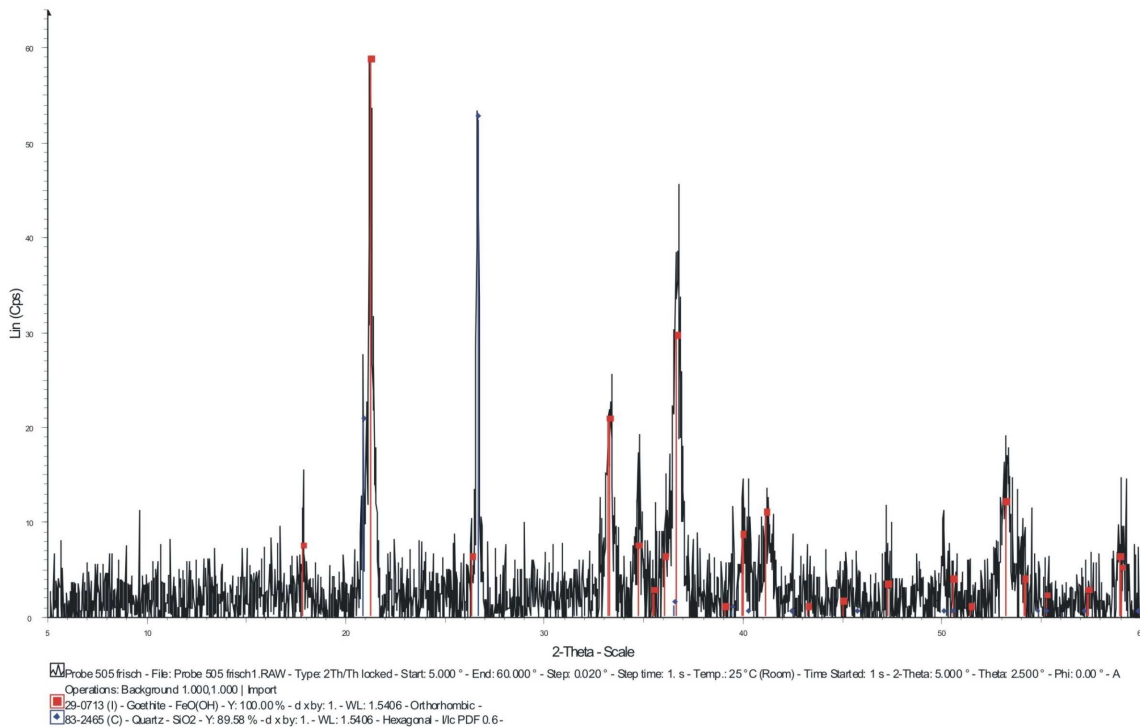
Hochwert
5572647



Das Handstück ist etwa 15 cm lang.

Element	Konzentration
Na2O	< 0,093 %
MgO	0,085 %
Al2O3	< 0,019 %
SiO2	8,829 %
P2O5	0,9673 %
S	< 0,0030 %
Cl	< 0,00001 %
K2O	0,5437 %
CaO	0,02711 %
TiO2	0,1152 %
MnO	0,03245 %
Fe2O3	69,8 %

Element	Konzentration
V	29,7 µg/g
Cr	166,5 µg/g
Co	< 33 µg/g
Ni	235,1 µg/g
Cu	86,3 µg/g
Zn	100,3 µg/g
Ga	< 2,6 µg/g
Ge	< 2,8 µg/g
As	265,1 µg/g
Se	< 0,6 µg/g
Br	< 2,9 µg/g
Rb	22,6 µg/g
Sr	34,4 µg/g
Y	22,7 µg/g
Zr	59 µg/g
Nb	< 1,7 µg/g
Mo	< 1,2 µg/g
Ag	< 1,2 µg/g
Cd	5,5 µg/g
In	< 0,2 µg/g
Sn	< 0,5 µg/g
Sb	5,2 µg/g
Te	< 2,2 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	< 2,3 µg/g
Ba	108,5 µg/g
La	23,7 µg/g
Ce	42,7 µg/g
Pr	< 10 µg/g
Nd	69,6 µg/g
Sm	57,8 µg/g
Yb	< 22 µg/g
Hf	< 0,1 µg/g
Ta	< 22 µg/g
W	117 µg/g
Hg	< 4,8 µg/g
Tl	< 2,4 µg/g
Pb	160 µg/g
Bi	< 4,3 µg/g
Th	15,1 µg/g
U	15,4 µg/g



Probe: 509
Quarzit, frisch

Aufschluss: Bo335
Rechtswert
3398329

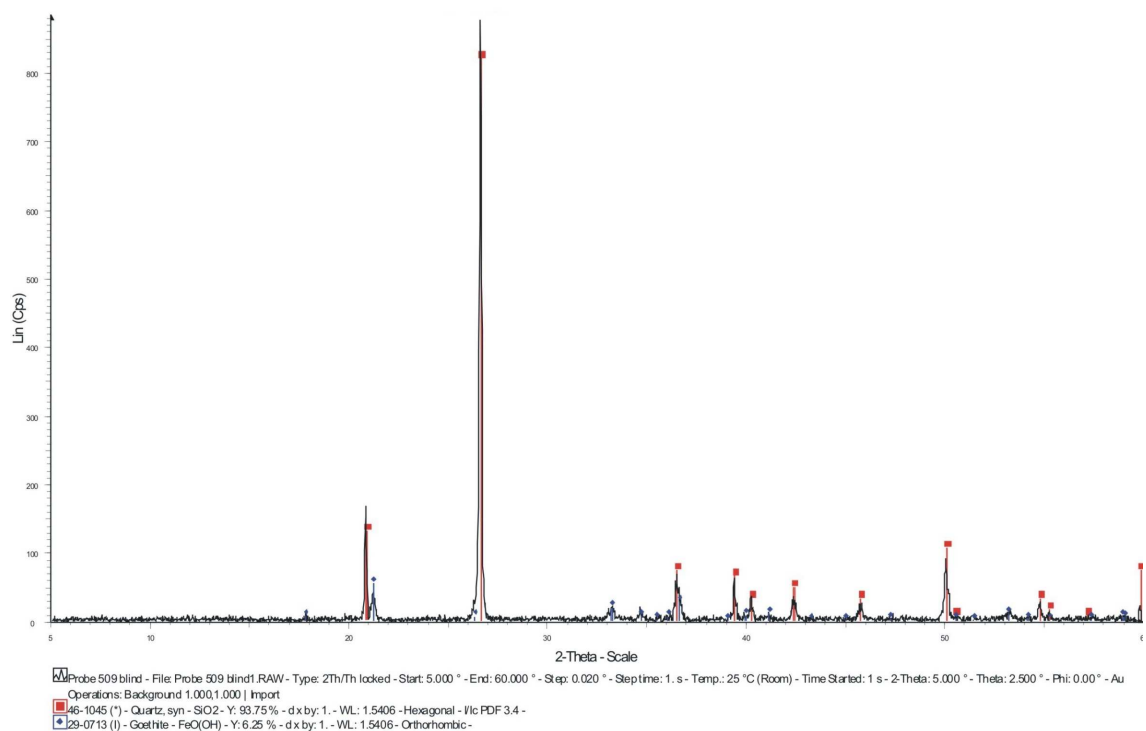
Hochwert
5572959



Das Handstück ist 5 cm breit.

Element	Konzentration
Na2O	< 0,10 %
MgO	< 0,044 %
Al2O3	1,045 %
SiO2	67,78 %
P2O5	0,2604 %
S	0,01171 %
Cl	0,001 %
K2O	0,5519 %
CaO	0,01736 %
TiO2	0,1572 %
MnO	0,00172 %
Fe2O3	16,23 %

Element	Konzentration
V	20,7 µg/g
Cr	59,5 µg/g
Co	52 µg/g
Ni	93 µg/g
Cu	158,1 µg/g
Zn	346,6 µg/g
Ga	1,7 µg/g
Ge	2,6 µg/g
As	507,4 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	2,3 µg/g
Rb	21,8 µg/g
Sr	21,8 µg/g
Y	12,8 µg/g
Zr	96,4 µg/g
Nb	3,8 µg/g
Mo	< 0,5 µg/g
Ag	2,2 µg/g
Cd	2,6 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	4,1 µg/g
Sb	39,8 µg/g
Te	< 1,5 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	< 1,7 µg/g
Ba	70,1 µg/g
La	16,2 µg/g
Ce	39,6 µg/g
Pr	< 8,1 µg/g
Nd	25,7 µg/g
Sm	2,9 µg/g
Yb	13,9 µg/g
Hf	< 0,1 µg/g
Ta	< 11 µg/g
W	768,6 µg/g
Hg	< 4,2 µg/g
Tl	7,4 µg/g
Pb	650,3 µg/g
Bi	< 2,1 µg/g
Th	19,3 µg/g
U	< 1,3 µg/g



Probe: 509
Belag

Aufschluss: Bo335
Rechtswert
3398329

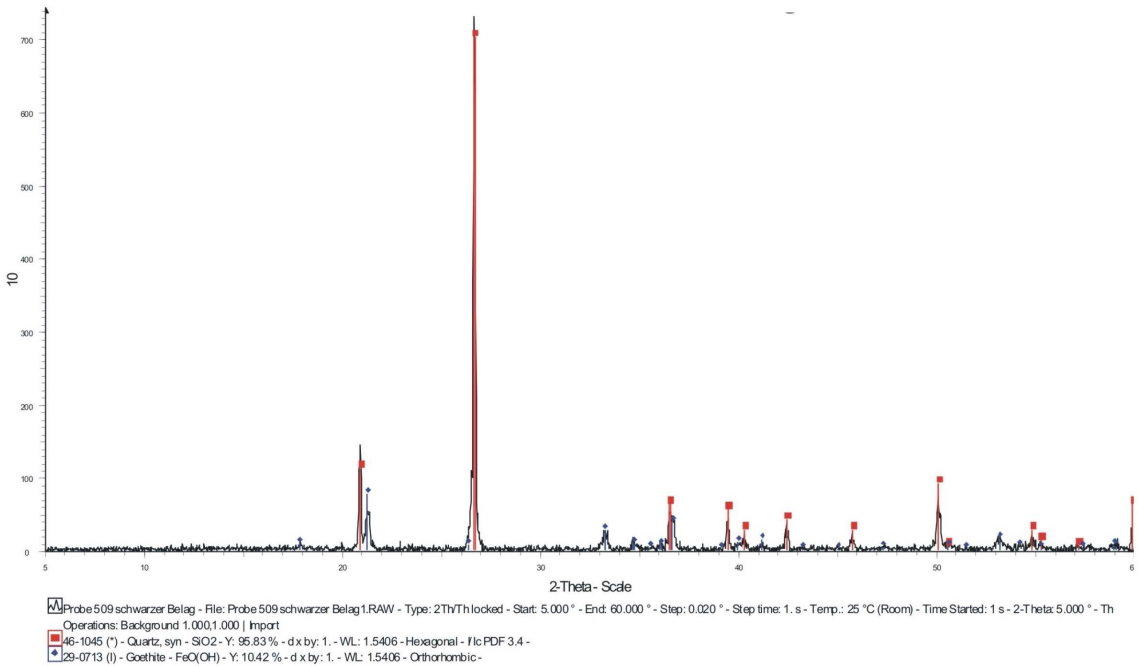
Hochwert
5572959



Das Handstück ist 15 cm lang.

Element	Konzentration
Na2O	< 0,0996 %
MgO	0,0487 %
Al2O3	< 0,0099 %
SiO2	52,33 %
P2O5	0,3789 %
S	0,00721 %
Cl	0,00229 %
K2O	0,4313 %
CaO	0,02218 %
TiO2	0,1796 %
MnO	0,00149 %
Fe2O3	22,34 %

Element	Konzentration
V	21,9 µg/g
Cr	108,5 µg/g
Co	55,2 µg/g
Ni	133,6 µg/g
Cu	457,8 µg/g
Zn	510,5 µg/g
Ga	< 1,8 µg/g
Ge	4,1 µg/g
As	635,7 µg/g
Se	< 0,4 µg/g
Br	2,8 µg/g
Rb	19,2 µg/g
Sr	30 µg/g
Y	13,3 µg/g
Zr	132,2 µg/g
Nb	3,8 µg/g
Mo	< 0,7 µg/g
Ag	2 µg/g
Cd	3,2 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	3,5 µg/g
Sb	56,3 µg/g
Te	< 1,5 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	< 1,7 µg/g
Ba	74,9 µg/g
La	17,5 µg/g
Ce	36,9 µg/g
Pr	< 7,9 µg/g
Nd	30,7 µg/g
Sm	12,6 µg/g
Yb	21,2 µg/g
Hf	< 0,1 µg/g
Ta	< 20 µg/g
W	1207 µg/g
Hg	< 5,8 µg/g
Tl	10,6 µg/g
Pb	894,3 µg/g
Bi	< 2,6 µg/g
Th	10,3 µg/g
U	1,3 µg/g



Probe: 546
Quarzit mit Fe
mineralisation

Aufschluss: Bo374
Rechtswert
3398682

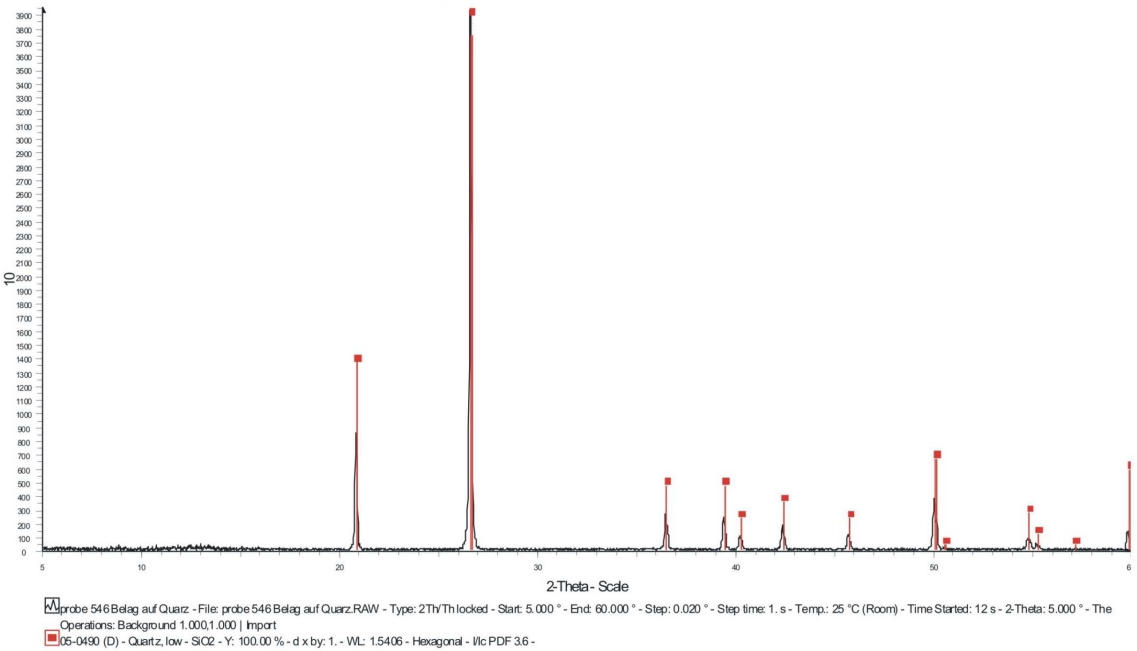
Hochwert
5572750



Das Handstück ist 15 cm lang.

Element	Konzentration
Na2O	< 0,10 %
MgO	0,072 %
Al2O3	1,987 %
SiO2	98,39 %
P2O5	< 0,0035 %
S	0,01268 %
Cl	< 0,00001 %
K2O	0,256 %
CaO	< 0,014 %
TiO2	0,1383 %
MnO	0,00204 %
Fe2O3	1,893 %

Element	Konzentration
V	13,5 µg/g
Cr	103 µg/g
Co	195,3 µg/g
Ni	2,3 µg/g
Cu	4,4 µg/g
Zn	4,8 µg/g
Ga	< 0,5 µg/g
Ge	5,4 µg/g
As	16,8 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	1,2 µg/g
Rb	8,2 µg/g
Sr	14,5 µg/g
Y	4,7 µg/g
Zr	97 µg/g
Nb	2,6 µg/g
Mo	< 0,4 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	0,8 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2 µg/g
Sb	5,6 µg/g
Te	5,2 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	< 1,5 µg/g
Ba	27,6 µg/g
La	8,9 µg/g
Ce	21,4 µg/g
Pr	20,2 µg/g
Nd	< 3,6 µg/g
Sm	< 2,1 µg/g
Yb	4,6 µg/g
Hf	4,5 µg/g
Ta	< 3,1 µg/g
W	1146 µg/g
Hg	< 3,4 µg/g
Tl	4 µg/g
Pb	33 µg/g
Bi	< 0,9 µg/g
Th	1 µg/g
U	< 0,8 µg/g



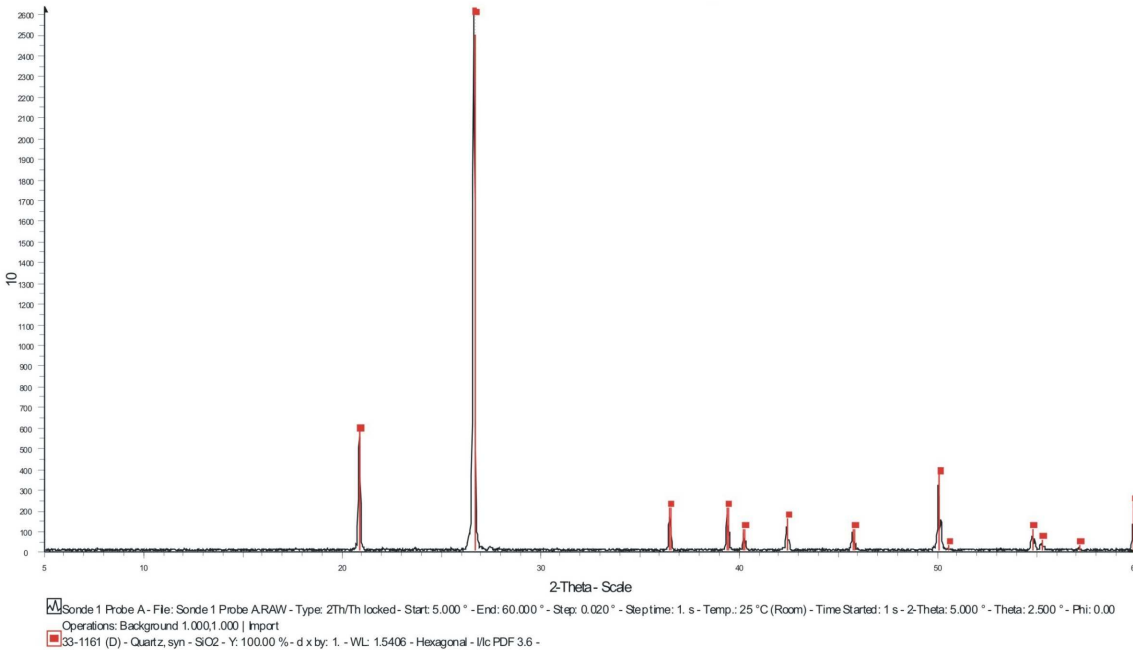
A.4.2 Amrum

Probe: A
Standort 1

Tiefe: 0-1 m
Rechtswert 3456662
Hochwert 6059445

Element	Konzentration
V	10,5 µg/g
Cr	48,9 µg/g
Co	225 µg/g
Ni	1,6 µg/g
Cu	4,5 µg/g
Zn	14,2 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	< 2,1 µg/g
As	2,2 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	20,8 µg/g
Rb	18,3 µg/g
Sr	20,8 µg/g
Y	2,8 µg/g
Zr	315,5 µg/g
Nb	4,2 µg/g
Mo	< 0,6 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	0,7 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2,9 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	22,6 µg/g
Ba	159 µg/g
La	46,5 µg/g
Ce	42 µg/g
Pr	69 µg/g
Nd	< 3,6 µg/g
Sm	< 2,0 µg/g
Yb	2,4 µg/g
Hf	9,4 µg/g
Ta	< 3,3 µg/g
W	1316 µg/g
Hg	< 3,6 µg/g
Tl	4,3 µg/g
Pb	2,8 µg/g
Bi	2,6 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	2,6 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,312 %
MgO	< 0,045 %
Al2O3	1,937 %
SiO2	96 %
P2O5	< 0,0036 %
S	0,02981 %
Cl	0,0163 %
K2O	0,6897 %
CaO	0,1134 %
TiO2	0,2244 %
MnO	0,01116 %
Fe2O3	0,8619 %



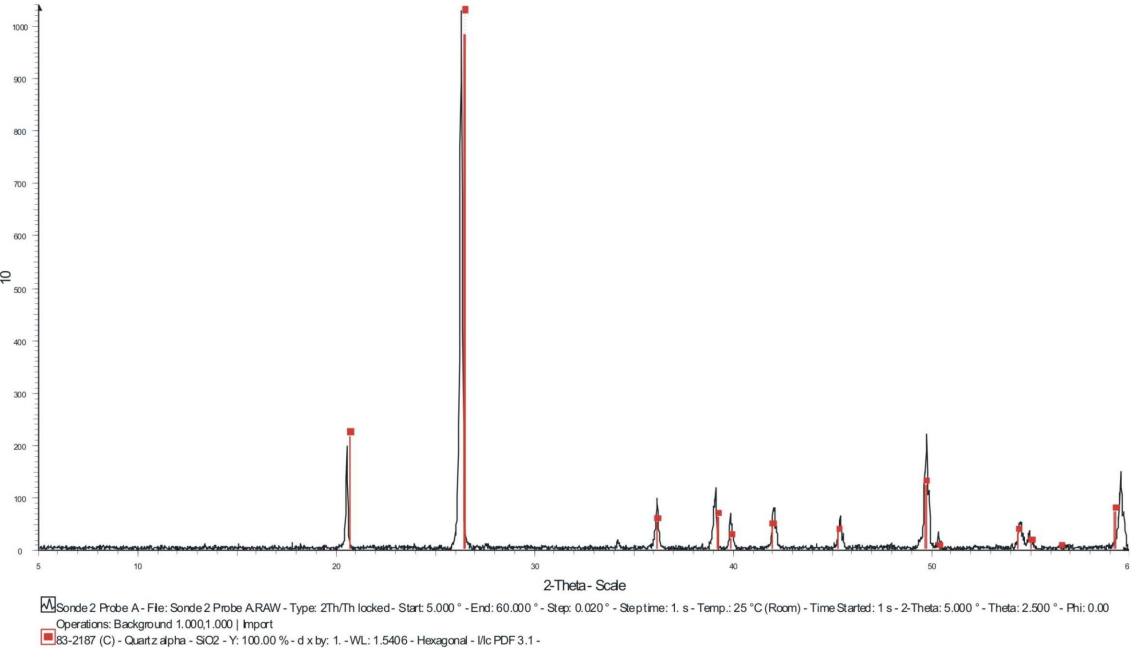
Probe: A
Standort 2

Tiefe: 0,05-1 m
Rechtswert
3456926

Hochwert
6059393

Element	Konzentration
V	1,9 µg/g
Cr	7,5 µg/g
Co	288 µg/g
Ni	< 1,9 µg/g
Cu	3 µg/g
Zn	< 1,5 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	5,1 µg/g
As	2 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	13 µg/g
Rb	12,9 µg/g
Sr	16 µg/g
Y	2,9 µg/g
Zr	172,7 µg/g
Nb	2,6 µg/g
Mo	< 0,4 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	1,6 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2,4 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	11,9 µg/g
Ba	117,7 µg/g
La	20,2 µg/g
Ce	23,2 µg/g
Pr	25 µg/g
Nd	< 3,6 µg/g
Sm	< 1,9 µg/g
Yb	7,5 µg/g
Hf	4,9 µg/g
Ta	< 3,4 µg/g
W	1581 µg/g
Hg	< 3,9 µg/g
Tl	5,2 µg/g
Pb	2,1 µg/g
Bi	2,8 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	2,1 µg/g

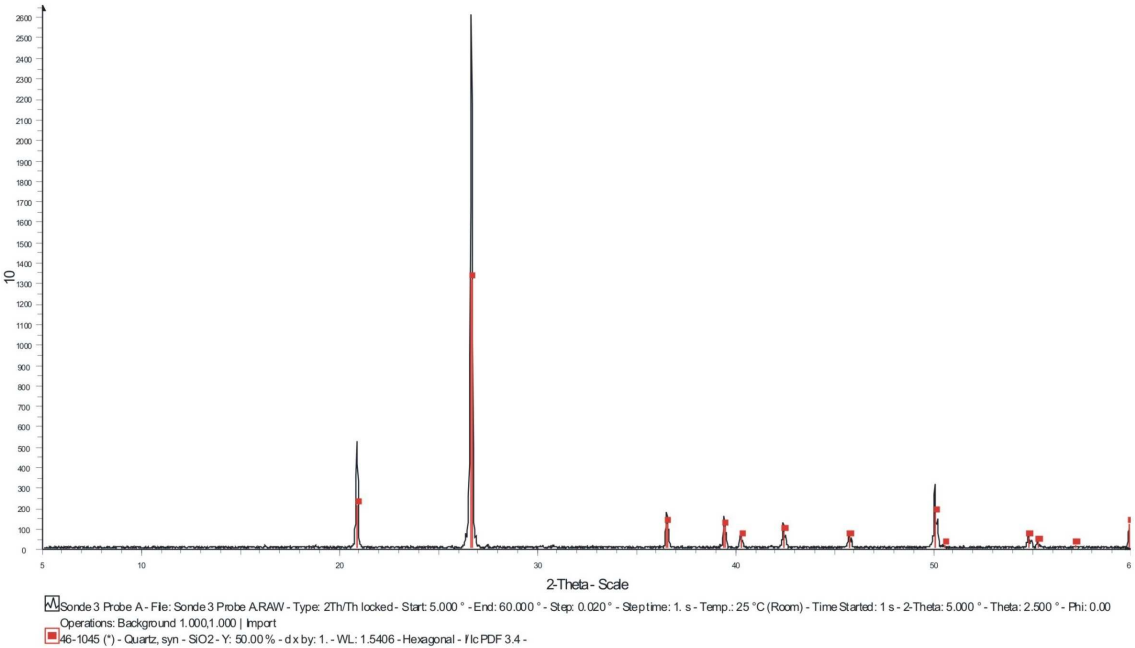
Element	Konzentration
Na2O	0,177 %
MgO	< 0,045 %
Al2O3	1,647 %
SiO2	98,49 %
P2O5	< 0,0033 %
S	0,01138 %
Cl	0,0062 %
K2O	0,5458 %
CaO	0,0706 %
TiO2	0,129 %
MnO	0,00632 %
Fe2O3	0,1849 %



Probe: A
Standort 3
Tiefe: 0,05-0,65 m
Rechtswert
3457419
Hochwert
6058852

Element	Konzentration
V	9,1 µg/g
Cr	14 µg/g
Co	257 µg/g
Ni	1,7 µg/g
Cu	2,8 µg/g
Zn	1,3 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	5,1 µg/g
As	3,2 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	34,4 µg/g
Rb	16,9 µg/g
Sr	19,4 µg/g
Y	2,9 µg/g
Zr	198,1 µg/g
Nb	2,7 µg/g
Mo	< 0,5 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	1,3 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2,4 µg/g
Sb	< 0,4 µg/g
Te	15,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	10,3 µg/g
Ba	145 µg/g
La	21,1 µg/g
Ce	29,3 µg/g
Pr	27,9 µg/g
Nd	< 3,6 µg/g
Sm	< 1,9 µg/g
Yb	3 µg/g
Hf	6,4 µg/g
Ta	< 3,2 µg/g
W	1456 µg/g
Hg	< 3,8 µg/g
Tl	4,3 µg/g
Pb	3,5 µg/g
Bi	1,7 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	1,7 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	< 0,11 %
MgO	< 0,048 %
Al2O3	2,241 %
SiO2	98,71 %
P2O5	0,0072 %
S	0,01871 %
Cl	0,0102 %
K2O	0,6941 %
CaO	0,0849 %
TiO2	0,1628 %
MnO	0,00668 %
Fe2O3	0,4623 %



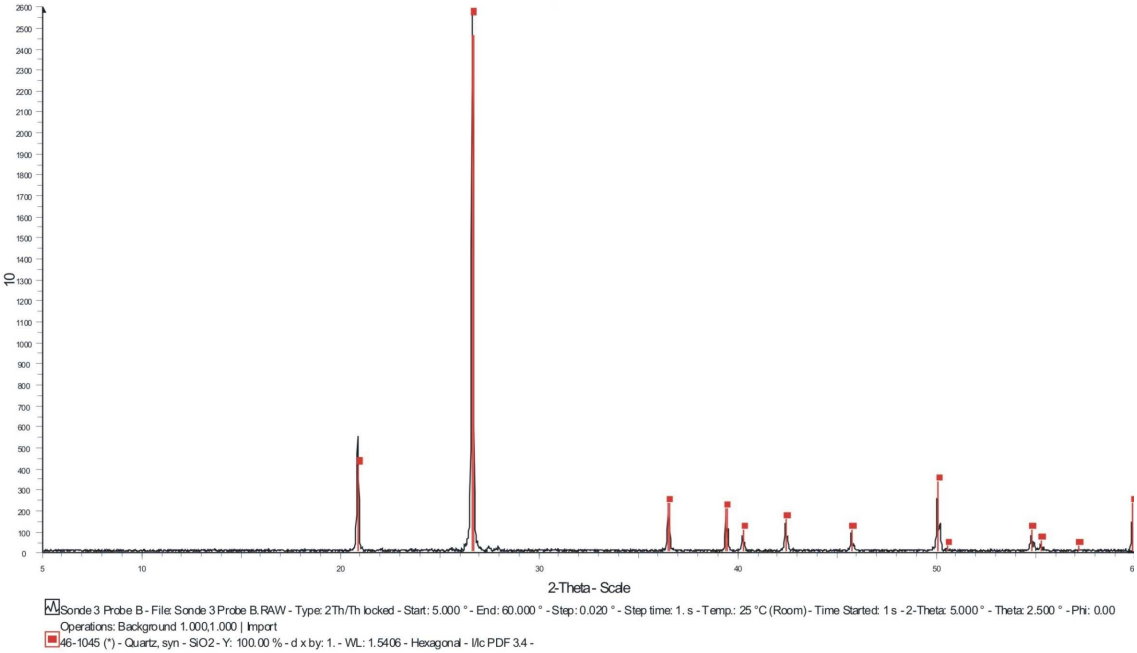
Probe: B
Standort 3

Tiefe: 0,65-0,95 m
Rechtswert
3457419

Hochwert
6058852

Element	Konzentration
V	13,3 µg/g
Cr	14,1 µg/g
Co	151,3 µg/g
Ni	1,9 µg/g
Cu	2,5 µg/g
Zn	12,4 µg/g
Ga	0,7 µg/g
Ge	< 1,7 µg/g
As	2,7 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	82,2 µg/g
Rb	23,6 µg/g
Sr	27,2 µg/g
Y	4,1 µg/g
Zr	205 µg/g
Nb	3,8 µg/g
Mo	< 0,5 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	1 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2,4 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	10,6 µg/g
Ba	166,5 µg/g
La	18,3 µg/g
Ce	30,2 µg/g
Pr	33,6 µg/g
Nd	< 3,3 µg/g
Sm	< 1,8 µg/g
Yb	4,1 µg/g
Hf	4,7 µg/g
Ta	< 2,8 µg/g
W	905,5 µg/g
Hg	< 3,0 µg/g
Tl	3 µg/g
Pb	3,5 µg/g
Bi	1,7 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	1,2 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,241 %
MgO	0,069 %
Al2O3	3,361 %
SiO2	86,7 %
P2O5	0,0081 %
S	0,01988 %
Cl	0,0146 %
K2O	0,8917 %
CaO	0,1497 %
TiO2	0,1844 %
MnO	0,00848 %
Fe2O3	0,96 %



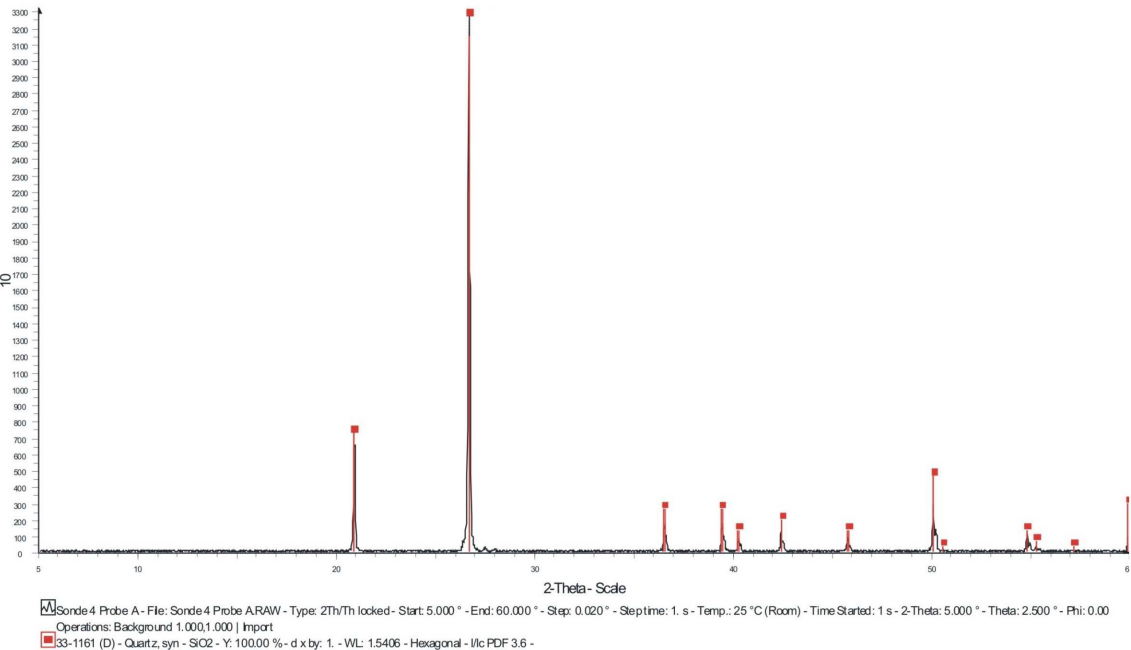
Probe: A
Standort 4

Tiefe: 0,15-0,45 m
Rechtswert
3457317

Hochwert
6058337

Element	Konzentration
V	6,7 µg/g
Cr	15,7 µg/g
Co	224 µg/g
Ni	1,1 µg/g
Cu	1,9 µg/g
Zn	3,1 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	4,3 µg/g
As	2,3 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	8,9 µg/g
Rb	15,3 µg/g
Sr	18,2 µg/g
Y	2,8 µg/g
Zr	217,2 µg/g
Nb	3,5 µg/g
Mo	< 0,4 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	2 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	3,6 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	20,8 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	18,9 µg/g
Ba	143,9 µg/g
La	41 µg/g
Ce	47 µg/g
Pr	60,1 µg/g
Nd	< 3,4 µg/g
Sm	< 1,8 µg/g
Yb	3,3 µg/g
Hf	5,5 µg/g
Ta	< 2,9 µg/g
W	1247 µg/g
Hg	< 3,4 µg/g
Tl	< 0,6 µg/g
Pb	3,8 µg/g
Bi	2,3 µg/g
Th	< 0,9 µg/g
U	2,7 µg/g

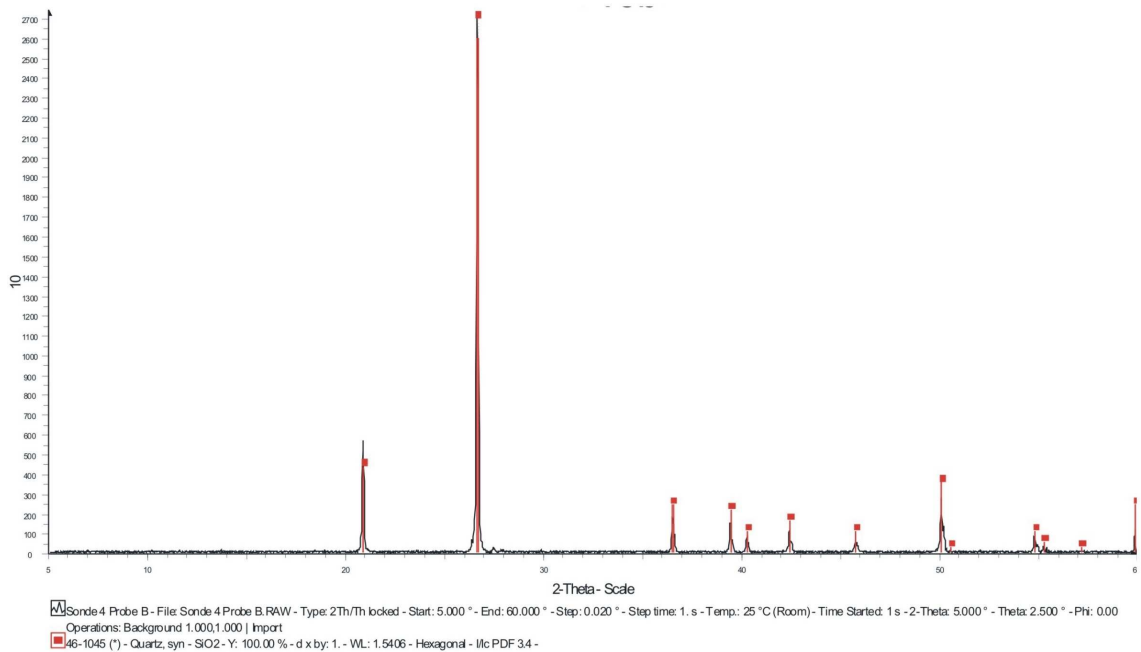
Element	Konzentration
Na2O	< 0,098 %
MgO	< 0,045 %
Al2O3	1,799 %
SiO2	91,17 %
P2O5	< 0,0032 %
S	0,01454 %
Cl	0,00243 %
K2O	0,6143 %
CaO	0,0874 %
TiO2	0,174 %
MnO	0,0077 %
Fe2O3	0,2744 %



Probe: B
Standort 4
Tiefe: 0,45-0,50 m
Rechtswert
3457317
Hochwert
6058337

Element	Konzentration
V	11,2 µg/g
Cr	12,8 µg/g
Co	185,7 µg/g
Ni	1,2 µg/g
Cu	1,8 µg/g
Zn	34 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	1,5 µg/g
As	2,8 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	35,6 µg/g
Rb	18 µg/g
Sr	17,6 µg/g
Y	3,6 µg/g
Zr	199 µg/g
Nb	3,6 µg/g
Mo	< 0,4 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	0,2 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	0,7 µg/g
Sb	1 µg/g
Te	< 1,1 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	1,2 µg/g
Ba	63,4 µg/g
La	5,3 µg/g
Ce	7,4 µg/g
Pr	< 5,4 µg/g
Nd	< 2,6 µg/g
Sm	< 1,5 µg/g
Yb	5 µg/g
Hf	5,9 µg/g
Ta	< 2,8 µg/g
W	1080 µg/g
Hg	< 3,2 µg/g
Tl	3,8 µg/g
Pb	2,8 µg/g
Bi	2,9 µg/g
Th	< 0,9 µg/g
U	< 0,6 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,136 %
MgO	0,0355 %
Al2O3	1,323 %
SiO2	53,96 %
P2O5	0,0161 %
S	0,01761 %
Cl	0,00459 %
K2O	0,5976 %
CaO	0,0802 %
TiO2	0,1592 %
MnO	0,01017 %
Fe2O3	0,6038 %



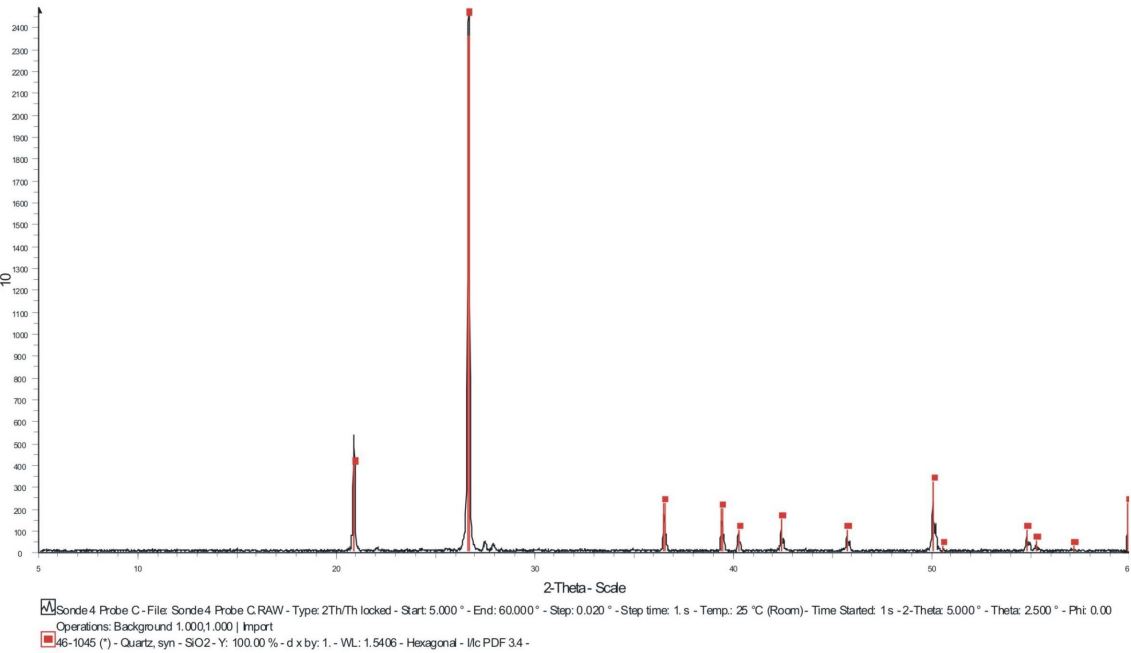
Probe: C
Standort 4

Tiefe: 0,50-0,85 m
Rechtswert
3457317

Hochwert
6058337

Element	Konzentration
V	17,5 µg/g
Cr	19 µg/g
Co	196 µg/g
Ni	2,1 µg/g
Cu	3,4 µg/g
Zn	19,6 µg/g
Ga	1,1 µg/g
Ge	< 2,0 µg/g
As	1,7 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	77,7 µg/g
Rb	27,9 µg/g
Sr	26,8 µg/g
Y	5,3 µg/g
Zr	255,4 µg/g
Nb	4,3 µg/g
Mo	< 0,5 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	1,1 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2,5 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	10,1 µg/g
Ba	186,3 µg/g
La	19,6 µg/g
Ce	25,8 µg/g
Pr	13,1 µg/g
Nd	< 3,6 µg/g
Sm	< 2,0 µg/g
Yb	5,4 µg/g
Hf	6,2 µg/g
Ta	< 3,1 µg/g
W	1144 µg/g
Hg	< 3,4 µg/g
Tl	3,9 µg/g
Pb	4,1 µg/g
Bi	2,4 µg/g
Th	0,7 µg/g
U	3,1 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,482 %
MgO	0,118 %
Al2O3	3,852 %
SiO2	87,44 %
P2O5	< 0,0037 %
S	0,01677 %
Cl	0,0068 %
K2O	0,9651 %
CaO	0,1374 %
TiO2	0,22 %
MnO	0,01526 %
Fe2O3	1,039 %



Probe: D
Standort 4

Tiefe: 0,85-1 m
Rechtswert
3457317

Hochwert
6058337

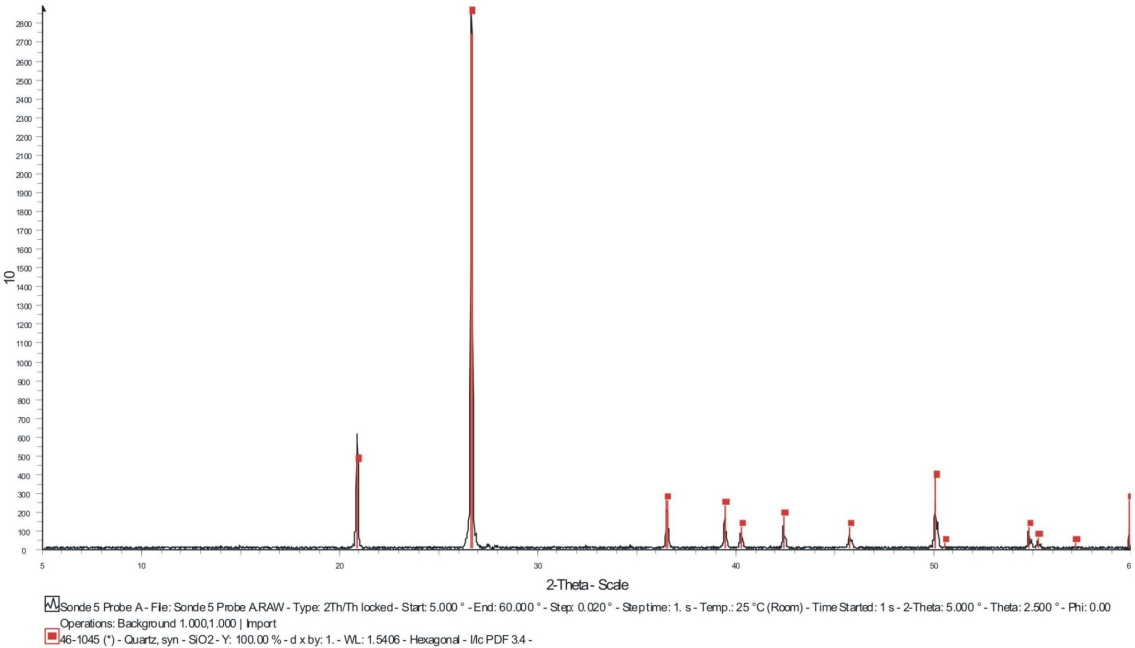
Element	Konzentration
Na2O	0,469 %
MgO	0,199 %
Al2O3	5,013 %
SiO2	92,6 %
P2O5	0,0108 %
S	0,01086 %
Cl	0,0002 %
K2O	1,272 %
CaO	0,2087 %
TiO2	0,373 %
MnO	0,01359 %
Fe2O3	1,365 %

Element	Konzentration
V	30 µg/g
Cr	41,5 µg/g
Co	201 µg/g
Ni	5,1 µg/g
Cu	4,5 µg/g
Zn	18,1 µg/g
Ga	1,2 µg/g
Ge	< 2,1 µg/g
As	2,3 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	46,7 µg/g
Rb	36 µg/g
Sr	39,3 µg/g
Y	11,4 µg/g
Zr	575,3 µg/g
Nb	7,2 µg/g
Mo	< 0,8 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	1,4 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	3,8 µg/g
Sb	< 0,4 µg/g
Te	23,6 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	23,1 µg/g
Ba	276,4 µg/g
La	55,8 µg/g
Ce	80,7 µg/g
Pr	89,7 µg/g
Nd	< 4,0 µg/g
Sm	< 2,2 µg/g
Yb	7,7 µg/g
Hf	14,9 µg/g
Ta	< 3,3 µg/g
W	1166 µg/g
Hg	5,6 µg/g
Tl	< 0,6 µg/g
Pb	7,8 µg/g
Bi	1,8 µg/g
Th	1,5 µg/g
U	5,3 µg/g

Probe: A
Standort 5
Tiefe: 0,15-0,50 m
Rechtswert
3457618
Hochwert
6058109

Element	Konzentration
V	6,2 µg/g
Cr	8 µg/g
Co	284 µg/g
Ni	< 1,8 µg/g
Cu	2,7 µg/g
Zn	1,9 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	5,4 µg/g
As	1,9 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	6,7 µg/g
Rb	13,5 µg/g
Sr	17,5 µg/g
Y	2,1 µg/g
Zr	148,4 µg/g
Nb	2,7 µg/g
Mo	< 0,4 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	1,5 µg/g
In	0,8 µg/g
Sn	2,8 µg/g
Sb	3,5 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	8,6 µg/g
Ba	128 µg/g
La	12,1 µg/g
Ce	15,1 µg/g
Pr	20,9 µg/g
Nd	< 3,5 µg/g
Sm	< 1,9 µg/g
Yb	3,8 µg/g
Hf	5,6 µg/g
Ta	< 3,2 µg/g
W	1525 µg/g
Hg	< 3,8 µg/g
Tl	5 µg/g
Pb	3,8 µg/g
Bi	< 0,8 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	2,6 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,183 %
MgO	< 0,045 %
Al2O3	1,677 %
SiO2	99,75 %
P2O5	0,0058 %
S	0,01317 %
Cl	0,0056 %
K2O	0,5917 %
CaO	0,0798 %
TiO2	0,13 %
MnO	0,00704 %
Fe2O3	0,2604 %



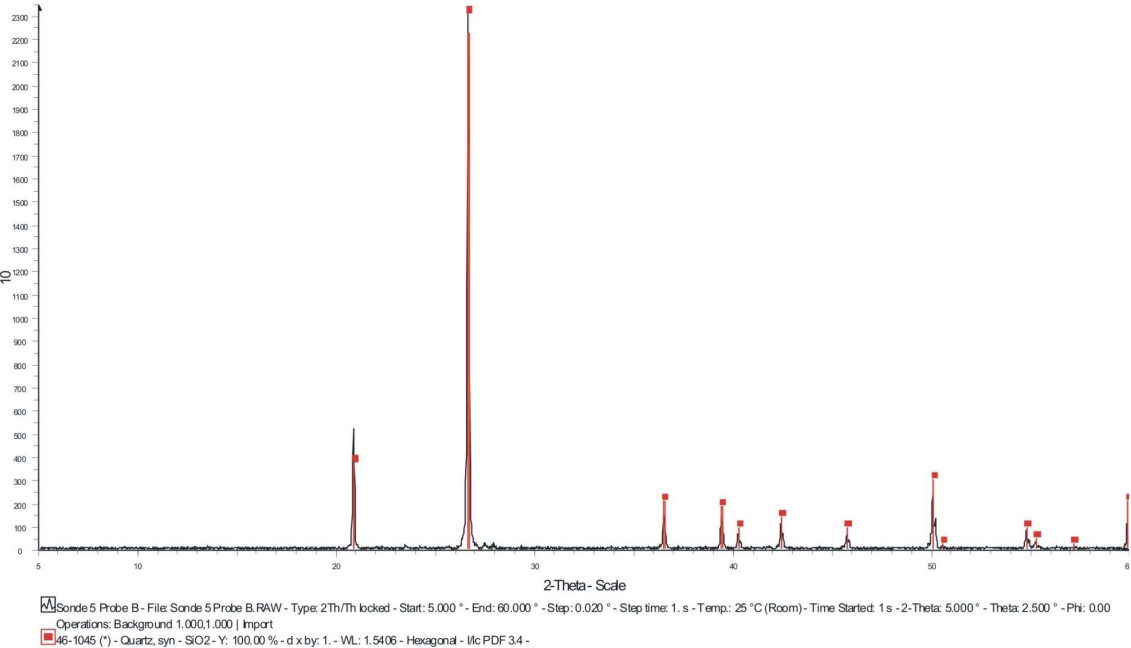
Probe: B
Standort 5

Tiefe: 0,50-0,85 m
Rechtswert
3457618

Hochwert
6058109

Element	Konzentration
V	18,6 µg/g
Cr	20,7 µg/g
Co	277 µg/g
Ni	4,2 µg/g
Cu	4,2 µg/g
Zn	12,1 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	1,6 µg/g
As	4,8 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	27,4 µg/g
Rb	30,3 µg/g
Sr	30,6 µg/g
Y	5,8 µg/g
Zr	355,2 µg/g
Nb	4,7 µg/g
Mo	< 0,6 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	0,4 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	3,1 µg/g
Sb	4,5 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	16,8 µg/g
Ba	211,9 µg/g
La	36,3 µg/g
Ce	53,3 µg/g
Pr	49,8 µg/g
Nd	< 3,7 µg/g
Sm	< 2,1 µg/g
Yb	5,1 µg/g
Hf	10,3 µg/g
Ta	< 3,4 µg/g
W	1520 µg/g
Hg	7,5 µg/g
Tl	< 0,7 µg/g
Pb	7,8 µg/g
Bi	1,6 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	2,5 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,367 %
MgO	0,1 %
Al2O3	3,202 %
SiO2	96,12 %
P2O5	0,0094 %
S	0,01608 %
Cl	0,00477 %
K2O	0,9727 %
CaO	0,1506 %
TiO2	0,2652 %
MnO	0,01744 %
Fe2O3	1,416 %



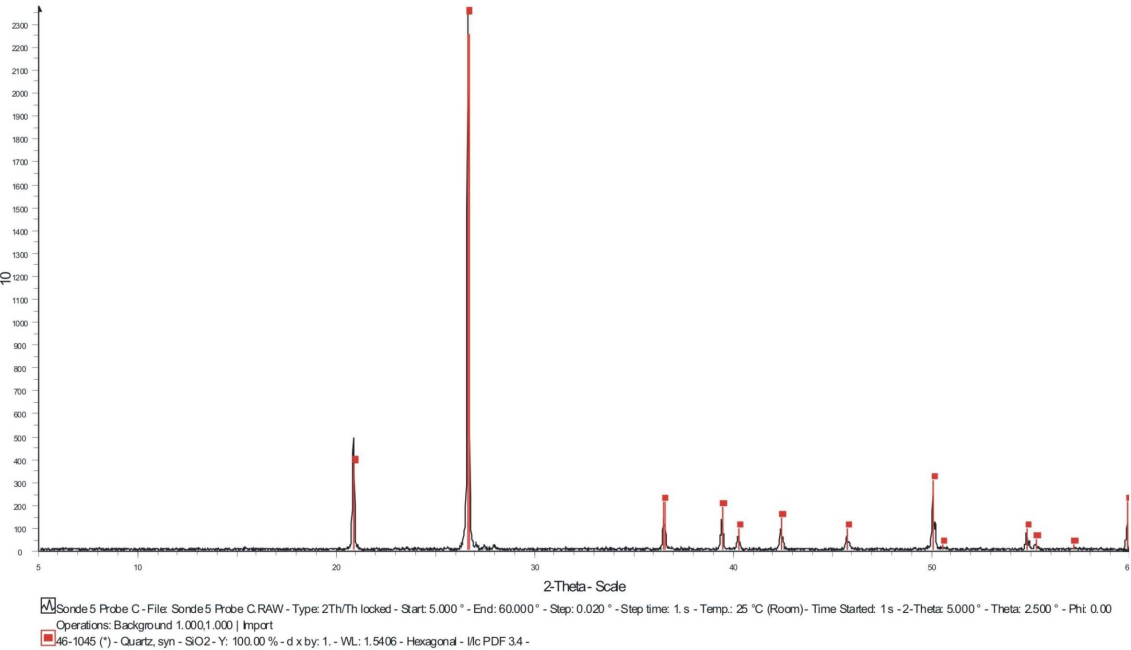
Probe: C
Standort 5

Tiefe: 0,95-1 m
Rechtswert
3457618

Hochwert
6058109

Element	Konzentration
V	23,5 µg/g
Cr	19,8 µg/g
Co	173 µg/g
Ni	7,1 µg/g
Cu	5,5 µg/g
Zn	37,1 µg/g
Ga	0,7 µg/g
Ge	3 µg/g
As	7,2 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	29,3 µg/g
Rb	33,2 µg/g
Sr	33,2 µg/g
Y	6,8 µg/g
Zr	302,4 µg/g
Nb	4,2 µg/g
Mo	< 0,6 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	1,8 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	3,3 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	21,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	17,8 µg/g
Ba	217,5 µg/g
La	43,9 µg/g
Ce	59 µg/g
Pr	49 µg/g
Nd	3 µg/g
Sm	< 2,1 µg/g
Yb	< 2,7 µg/g
Hf	8,9 µg/g
Ta	< 3,2 µg/g
W	1070 µg/g
Hg	< 3,5 µg/g
Tl	3,2 µg/g
Pb	5,1 µg/g
Bi	< 0,9 µg/g
Th	1,9 µg/g
U	4,5 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,314 %
MgO	0,131 %
Al2O3	4,248 %
SiO2	90,4 %
P2O5	0,0455 %
S	0,01336 %
Cl	0,0102 %
K2O	1,044 %
CaO	0,1653 %
TiO2	0,2378 %
MnO	0,01342 %
Fe2O3	2,123 %



A.5 Theoretische Gezeitenbeschleunigung

Die theoretische Gezeitenbeschleunigung wurde mit der Software T-Soft berechnet.

A.5.1 Raum Koblenz

Berechnet für den Standort	
50,27° N	
7,55° E	
Höhe: 400 m NN	
Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
28.08.2007 02:00	349,28858
28.08.2007 02:30	400,40872
28.08.2007 03:00	473,49873
28.08.2007 03:30	562,40618
28.08.2007 04:00	659,50528
28.08.2007 04:30	756,24697
28.08.2007 05:00	843,77471
28.08.2007 05:30	913,56229
28.08.2007 06:00	958,02887
28.08.2007 06:30	971,08915
28.08.2007 07:00	948,60161
28.08.2007 07:30	888,68569
28.08.2007 08:00	791,88817
28.08.2007 08:30	661,18943
28.08.2007 09:00	501,8509
28.08.2007 09:30	321,11517
28.08.2007 10:00	127,77921
28.08.2007 10:30	-68,33119
28.08.2007 11:00	-256,95249
28.08.2007 11:30	-428,00284
28.08.2007 12:00	-572,19207
28.08.2007 12:30	-681,58516
28.08.2007 13:00	-750,0854
28.08.2007 13:30	-773,80837
28.08.2007 14:00	-751,3246
28.08.2007 14:30	-683,7561
28.08.2007 15:00	-574,72095
28.08.2007 15:30	-430,12857
28.08.2007 16:00	-257,83707
28.08.2007 16:30	-67,1924

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
28.08.2007 17:00	131,52417
28.08.2007 17:30	327,7078
28.08.2007 18:00	511,06476
28.08.2007 18:30	672,23152
28.08.2007 19:00	803,34012
28.08.2007 19:30	898,49397
28.08.2007 20:00	954,12286
28.08.2007 20:30	969,19278
28.08.2007 21:00	945,2546
28.08.2007 21:30	886,32576
28.08.2007 22:00	798,60975
28.08.2007 22:30	690,06946
28.08.2007 23:00	569,88048
28.08.2007 23:30	447,79986
29.08.2007 00:00	333,49234
29.08.2007 00:30	235,86045
29.08.2007 01:00	162,42528
29.08.2007 01:30	118,80228
29.08.2007 02:00	108,30996
29.08.2007 02:30	131,74025
29.08.2007 03:00	187,30766
29.08.2007 03:30	270,78114
29.08.2007 04:00	375,7891
29.08.2007 04:30	494,2754
29.08.2007 05:00	617,07301
29.08.2007 05:30	734,55376
29.08.2007 06:00	837,30764
29.08.2007 06:30	916,80365
29.08.2007 07:00	965,98632
29.08.2007 07:30	979,76781
29.08.2007 08:00	955,38318
29.08.2007 08:30	892,58723
29.08.2007 09:00	793,68201
29.08.2007 09:30	663,37624
29.08.2007 10:00	508,48838
29.08.2007 10:30	337,5152
29.08.2007 11:00	160,0956
29.08.2007 11:30	-13,59492
29.08.2007 12:00	-173,48026
29.08.2007 12:30	-310,21023

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
29.08.2007 13:00	-415,73933
29.08.2007 13:30	-483,82306
29.08.2007 14:00	-510,40224

A.5.2 Amrum

Berechnet für den Standort	54,63° N 8,39° E Höhe: 0 m NN
Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
12.10.2006 05:00	-755
12.10.2006 05:30	-695
12.10.2006 06:00	-617
12.10.2006 06:30	-523
12.10.2006 07:00	-418
12.10.2006 07:30	-304
12.10.2006 08:00	-186
12.10.2006 08:30	-67,9
12.10.2006 09:00	47,3
12.10.2006 09:30	157
12.10.2006 10:00	259
12.10.2006 10:30	351
12.10.2006 11:00	434
12.10.2006 11:30	506
12.10.2006 12:00	568
12.10.2006 12:30	621
12.10.2006 13:00	665
12.10.2006 13:30	703
12.10.2006 14:00	734
12.10.2006 14:30	761
12.10.2006 15:00	783
12.10.2006 15:30	802
12.10.2006 16:00	818
12.10.2006 16:30	831
12.10.2006 17:00	840
12.10.2006 17:30	844
12.10.2006 18:00	842
12.10.2006 18:30	834

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
12.10.2006 19:00	818
12.10.2006 19:30	793
12.10.2006 20:00	758
12.10.2006 20:30	713
12.10.2006 21:00	656
12.10.2006 21:30	588
12.10.2006 22:00	509
12.10.2006 22:30	419
12.10.2006 23:00	321
12.10.2006 23:30	216
13.10.2006 00:00	106
13.10.2006 00:30	-6,18
13.10.2006 01:00	-118
13.10.2006 01:30	-227
13.10.2006 02:00	-330
13.10.2006 02:30	-424
13.10.2006 03:00	-505
13.10.2006 03:30	-572
13.10.2006 04:00	-623
13.10.2006 04:30	-656
13.10.2006 05:00	-670
13.10.2006 05:30	-665
13.10.2006 06:00	-640
13.10.2006 06:30	-598
13.10.2006 07:00	-539
13.10.2006 07:30	-466
13.10.2006 08:00	-380
13.10.2006 08:30	-285
13.10.2006 09:00	-183
13.10.2006 09:30	-77,3
13.10.2006 10:00	29,6
16.10.2006 05:00	73,4
16.10.2006 05:30	0,879
16.10.2006 06:00	-71,9
16.10.2006 06:30	-141
16.10.2006 07:00	-203
16.10.2006 07:30	-253
16.10.2006 08:00	-289
16.10.2006 08:30	-306
16.10.2006 09:00	-305

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
16.10.2006 09:30	-282
16.10.2006 10:00	-239
16.10.2006 10:30	-177
16.10.2006 11:00	-96,8
16.10.2006 11:30	-3,03
16.10.2006 12:00	101
16.10.2006 12:30	211
16.10.2006 13:00	321
16.10.2006 13:30	428
16.10.2006 14:00	526
16.10.2006 14:30	612
16.10.2006 15:00	682
16.10.2006 15:30	734
16.10.2006 16:00	766
16.10.2006 16:30	779
16.10.2006 17:00	772
16.10.2006 17:30	747
16.10.2006 18:00	708
16.10.2006 18:30	657
16.10.2006 19:00	599
16.10.2006 19:30	537
16.10.2006 20:00	476
16.10.2006 20:30	420
16.10.2006 21:00	371
16.10.2006 21:30	333
16.10.2006 22:00	307
16.10.2006 22:30	294
16.10.2006 23:00	294
16.10.2006 23:30	305
22.10.2006 05:00	510
22.10.2006 05:30	619
22.10.2006 06:00	705
22.10.2006 06:30	765
22.10.2006 07:00	800
22.10.2006 07:30	809
22.10.2006 08:00	795
22.10.2006 08:30	762
22.10.2006 09:00	715
22.10.2006 09:30	659
22.10.2006 10:00	602

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
22.10.2006 10:30	548
22.10.2006 11:00	503
22.10.2006 11:30	471
22.10.2006 12:00	455
22.10.2006 12:30	456
22.10.2006 13:00	475
22.10.2006 13:30	509
22.10.2006 14:00	556
22.10.2006 14:30	610
22.10.2006 15:00	666
22.10.2006 15:30	719
22.10.2006 16:00	762
22.10.2006 16:30	790
22.10.2006 17:00	798
22.10.2006 17:30	781
22.10.2006 18:00	737
22.10.2006 18:30	667
22.10.2006 19:00	570
22.10.2006 19:30	450
22.10.2006 20:00	311
22.10.2006 20:30	158
22.10.2006 21:00	-0,831
22.10.2006 21:30	-159
22.10.2006 22:00	-310
22.10.2006 22:30	-445
22.10.2006 23:00	-557
22.10.2006 23:30	-642
23.10.2006 00:00	-695
23.10.2006 00:30	-714
23.10.2006 01:00	-697
23.10.2006 01:30	-646
23.10.2006 02:00	-563
23.10.2006 02:30	-453
23.10.2006 03:00	-320
23.10.2006 03:30	-173
23.10.2006 04:00	-17,8
23.10.2006 04:30	138
23.10.2006 05:00	288
23.10.2006 05:30	426
23.10.2006 06:00	545

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
23.10.2006 06:30	643
23.10.2006 07:00	716
23.10.2006 07:30	764
23.10.2006 08:00	787
23.10.2006 08:30	789
23.10.2006 09:00	771
23.10.2006 09:30	740
23.10.2006 10:00	701
23.10.2006 10:30	658

A.6 Wetterdaten

A.6.1 Raum Koblenz

Die Daten der Wetterstation Koblenz Lay, 125 *m* über *NN* (50° 19'8.65" *N*, 007° 32'23.43" *O*) wurden von R. KRIENKE zur Verfügung gestellt. Aufgelistet werden nur die genutzten Luftdruckdaten.

Daten der Wetterstation Koblenz, Lay	
Datum	Luftdruck [hPa]
28.08.2007 08:05	1020
28.08.2007 09:05	1020
28.08.2007 10:05	1020
28.08.2007 11:05	1020
28.08.2007 12:05	1020
28.08.2007 13:05	1019
28.08.2007 14:05	1018
28.08.2007 15:05	1018
28.08.2007 16:05	1017
28.08.2007 17:05	1017
28.08.2007 18:05	1017
28.08.2007 19:05	1017
28.08.2007 20:05	1017
28.08.2007 21:05	1017
28.08.2007 22:05	1017
28.08.2007 23:05	1016

Datum	Luftdruck [hPa]
29.08.2007 00:05	1016
29.08.2007 01:05	1016
29.08.2007 02:05	1015
29.08.2007 03:06	1015
29.08.2007 04:06	1015
29.08.2007 05:06	1014
29.08.2007 06:06	1014
29.08.2007 07:06	1014
29.08.2007 07:18	1014
29.08.2007 08:06	1014
29.08.2007 09:06	1015
29.08.2007 10:06	1015
29.08.2007 11:06	1015

A.6.2 Amrum

Die Daten der Insel Föhr ($54^{\circ} 42.03' N$, $008^{\circ} 27.36' E$) wurden von A. OHMS zur Verfügung gestellt. Aufgelistet werden nur die genutzten Luftdruckdaten.

Daten der Wetterstation auf Föhr

Datum	Luftdruck [hPa]
12.10.2006 05:00	1014
12.10.2006 06:00	1014
12.10.2006 07:00	1014
12.10.2006 08:00	1015
12.10.2006 09:00	1016
12.10.2006 10:00	1016
12.10.2006 11:00	1016
12.10.2006 12:00	1016
12.10.2006 13:00	1017
12.10.2006 14:00	1017
12.10.2006 15:00	1018
12.10.2006 16:00	1018
12.10.2006 17:00	1019
12.10.2006 18:00	1020
12.10.2006 19:00	1021
12.10.2006 20:00	1021
12.10.2006 21:00	1022

Datum	Luftdruck [hPa]
12.10.2006 22:00	1023
12.10.2006 23:00	1023
13.10.2006 00:00	1024
13.10.2006 01:00	1025
13.10.2006 02:00	1025
13.10.2006 03:00	1025
13.10.2006 04:00	1026
13.10.2006 05:00	1026
13.10.2006 06:00	1026
13.10.2006 07:00	1027
13.10.2006 08:00	1027
16.10.2006 07:00	1026
16.10.2006 08:00	1026
16.10.2006 09:00	1026
16.10.2006 10:00	1026
16.10.2006 11:00	1026
16.10.2006 12:00	1025
16.10.2006 13:00	1024
16.10.2006 14:00	1024
16.10.2006 15:00	1023
16.10.2006 16:00	1023
16.10.2006 17:00	1022
16.10.2006 18:00	1022
16.10.2006 19:00	1021
16.10.2006 20:00	1021
22.10.2006 06:00	997
22.10.2006 07:00	997
22.10.2006 08:00	997
22.10.2006 09:00	997
22.10.2006 10:00	998
22.10.2006 11:00	998
22.10.2006 12:00	998
22.10.2006 13:00	997
22.10.2006 14:00	997
22.10.2006 15:00	997
22.10.2006 16:00	997
22.10.2006 17:00	996
22.10.2006 18:00	997
22.10.2006 19:00	997
22.10.2006 20:00	995

Datum	Luftdruck [hPa]
22.10.2006 21:00	995
22.10.2006 22:00	994
22.10.2006 23:00	993
23.10.2006 00:00	992
23.10.2006 01:00	991
23.10.2006 02:00	990
23.10.2006 03:00	989
23.10.2006 04:00	988
23.10.2006 05:00	986
23.10.2006 06:00	987

A.6.3 Campusstation Essen

Daten der Campusstation Essen ($r^{25}70000$, $h^{57}03870$), des Fachgebietes Angewandte Klimatologie der Universität Duisburg-Essen. Aufgeführt werden nur die genutzten Luftdruckdaten.

Daten der Campusstation Essen	
Datum	Luftdruck [hPa]
22.05.2007 00:00	1010
22.05.2007 01:00	1010
22.05.2007 02:00	1010
22.05.2007 03:00	1010
22.05.2007 04:00	1011
22.05.2007 05:00	1011
22.05.2007 06:00	1011
22.05.2007 07:00	1012
22.05.2007 08:00	1012
22.05.2007 09:00	1013
22.05.2007 10:00	1013
22.05.2007 11:00	1013
22.05.2007 12:00	1012
22.05.2007 13:00	1012
22.05.2007 14:00	1012
22.05.2007 15:00	1012
22.05.2007 16:00	1012
22.05.2007 17:00	1013
22.05.2007 18:00	1013
22.05.2007 19:00	1013

Datum	Luftdruck [hPa]
22.05.2007 20:00	1014
22.05.2007 21:00	1014
22.05.2007 22:00	1015
22.05.2007 23:00	1015
23.05.2007 00:00	1015
23.05.2007 01:00	1015
23.05.2007 02:00	1015
23.05.2007 03:00	1016
23.05.2007 04:00	1016
23.05.2007 05:00	1016
23.05.2007 06:00	1016
23.05.2007 07:00	1016

Erklärung:

Hiermit erkläre ich, gem. § 6 Abs. 2, Nr. 7 der Promotionsordnung der Math.-Nat.- Fachbereiche zur Erlangung der Dr. rer. nat., dass ich das Arbeitsgebiet, dem das Thema „Identifikation gaspermeabler Störungszonen in Gebieten aktiver Tektonik (Rheinisches Schiefergebirge und Amrum) anhand von Helium in der Bodenluft“ zuzuordnen ist, in Forschung und Lehre vertrete und den Antrag von Jörg Simon befürworte.

Essen, den _____

Erklärung:

Hiermit erkläre ich, gem. § 6 Abs. 2, Nr. 6 der Promotionsordnung der Math.-Nat.- Fachbereiche zur Erlangung des Dr. rer. nat., dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und mich keiner anderen als der angegebenen Hilfsmittel bedient habe.

Essen, den _____

Erklärung:

Hiermit erkläre ich, gem. § 6 Abs. 2, Nr. 8 der Promotionsordnung der Math.-Nat.- Fachbereiche zur Erlangung des Dr. rer. nat., dass ich keine anderen Promotionen bzw. Promotionsversuche in der Vergangenheit durchgeführt habe und dass diese Arbeit von keiner andern Fakultät abgelehnt worden ist.

Essen, den _____

Lebenslauf

Name: Jörg Simon
geboren: 05.06.1976
Familienstand: ledig

Schulbildung:

1982 - 1986	Grundschule Wittlich-Wengerohr, Wittlich
1986 - 1992	Kurfürst Balduin Realschule, Wittlich
1992 - 1995	Berufliches Gymnasium - Bildungsgang für Technik, Trier
	Abschluss: allgemeine Hochschulreife

Wehrdienst:

1995 - 1997	Heinrich Hertz Kaserne, Daun
-------------	------------------------------

Hochschulausbildung:

1997 - 2003	Studium der Geologie an der Technischen Universität Clausthal Studien- schwerpunkt: Hydrogeologie und Analytische Geochemie Abschluss: Dipl.-Geol.
-------------	--

Diplomkartierung:

Geologische Kartierung der Faltenmolasse und ihrer quartären Bedeckung zwischen Huglfing und Peißenberg in Oberbayern

Diplomarbeit:

Geologische, hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen zur Ursachenidentifikation von Vernässungserscheinungen entlang des Mittellandkanals südwestlich von Hille (NRW)

seit 2004	Promotionsstudium an der Universität Duisburg-Essen am Institut für Geographie, Abteilung Geologie
-----------	--

Berufliche Tätigkeit:

2000-2003	Studentische Hilfskraft in den Abteilungen allgemeine Geologie und Hydrogeologie der Technischen Universität Clausthal
-----------	--

2003	Freier Mitarbeiter bei der Gesellschaft für angewandte Geowissenschaften in Umwelt- und Stadtforschung (agus) in Bochum
------	---

2003	Wissenschaftliche Hilfskraft in der Abteilung Hydrogeologie an der Technischen Universität Clausthal
------	--

seit 2004	Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Geologie der Universität Duisburg-Essen
-----------	---

Essen, den _____

A.1 Aufschlussliste der Kartierung im Untersuchungsgebiet Raum Koblenz

A.2 Sondierprofile der Sedimentprofile des Untersuchungsgebietes Amrum

A.3 Ergebnisse der Bodenluftmessungen

A.3.1 Raum Koblenz

A.3.2 Amrum

A.4 Ergebnisse der RFA und RDA

A.4.1 Raum Koblenz

A.4.2 Amrum

A.5 Theoretische Gezeitenbeschleunigung

A.5.1 Raum Koblenz

A.5.2 Amrum

A.6 Klimadaten

A.6.1 Raum Koblenz

A.6.2 Amrum

A.1 Aufschlussliste der Kartierung im Untersuchungsgebiet Raum Koblenz

Aufschlussliste für das UG Raum Koblenz										
Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo1	3403175	5568443	Tonstein: Kreuzungszone von zwei Störungszonen mit horizontalen Bewegungslinearen, Erzbelägen und Quarzrasen.				20/75			
Bo2	3403175	5568443	Tonstein: Störungsflächen.				140/80			
Bo2	3400044	5568020	Lesesteine: Quarzblöcke, dm ³ groß mit Quarzrasen.			105				
Bo3	3400431	5567829	Lesesteine: Quarz mit bergkristallartigen Quarzmineralen.							
Bo4	3401850	5567397	Lesesteine: Quarzblöcke, dm ³ groß mit Eisenmineralen durchsetzt. Auftreten auf 20-30 m begrenzt.							
Bo5	3402179	5567224	Quarzgang (Schichtparallel): Drusen mit Quarzrasen. Mächtigkeit wenige dm.	200/85						
Bo6	3402317	5567122	Siltstein: Feinlagig, glimmerführend.							
Bo7	3402394	5567105	Quarzgänge: Kreuzungsbereich zweier Quarzgänge.	200/85						
Bo8	3402931	5566788	Lesesteine: Quarzblöcke, bis dm ³ groß, mit bergkristallartigen Quarzmineralen.				110/70			
Bo8a	3402931	5566788	Lesesteine: Quarz.							
Bo9	3403053	5566584	Lesesteine: Quarz. Pingen: Verlauf 30°.			30				
Bo10	3403434	5568141	Tonstein/Siltstein (ehemaliger Steinbruch): Wechsellagerung mit Quarzrasen auf Klufflächen.					145/70		
Bo11	3403434	5568141	Tonstein:					250/80		
Bo10a	3403434	5568141	Tonstein/Siltstein: Wechsellagerung.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo11	3403475	5568087	Tonstein: Mit Quarz durchsetzt, nicht einmessbar.							
Bo12	3404636	5567309	Tonstein mit Quarzgang: nicht einmessbar.			30				
Bo13	3404285	5567562	Tonstein: dünnplattig, dunkel grau, glimmerführend mit Quarzlinsen und quarzitischen Lagen.							140/40
Bo13a	3404285	5567562	Lesesteine: Quarz.							
Bo14	3404066	5567975	Tonstein und Quarz-Lesesteine.							
Bo15	3403916	5567552	Lesesteine: Rote Tonsteine mit Eisenmineralisationen. Pingen: Verlauf in 110°.							
Bo16	3403817	5567618	Lesesteine: Quarzblöcke mit gut ausgebildeten Quarzkristallen.							
Bo17	3403747	5567703	Quarzgang: Drusen mit Quarzrasen.							
Bo18	3403819	5568272	Tonstein/Siltstein: Z. T. mit Quarz durchsetzt. Schieferungsflächen zeigen umbiegen.						135/40	
Bo19	3403819	5568272	Lesesteine: Quarz, dm ³ groß.							
Bo20	3403701	5568326	Quarzgang: Mächtigkeit 10 cm.							
Bo20a	3403701	5568326	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo20b	3403701	5568326	Quarzgang:			110				
Bo21	3403267	5568231	Tonstein: Nicht einmessbar, stark zermürbt.							
Bo22	3403496	5567102	Quarzgang im Tonstein:							
Bo23	3403481	5567408	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo23a	3403365	5567698	Tonstein: Störung aufgeschlossen.			30				
Bo23b	3403389	5567671	Tonstein: Störung aufgeschlossen.			30				
Bo24	3403307	5568321	Tonstein: Schieferungsfläche einmessbar.						155/30	
Bo25	3403175	5568443	Tonstein: Störung aufgeschlossen.				290/80	18/75		155/15

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo25	3403175	5568443						20/45		
Bo26	3403082	5568332	Tonstein (ehemaliger Steinbruch): Quarzrasen auf Kluftflächen. Quarzgang (ehemaliger Steinbruch).			110		155/75		
	3403082	5568332						235/80		
Bo27	3403077	5568308	Störungszone: nicht einmessbar (Verlauf etwa 30°).			30				
Bo28	3403076	5568271	Tonstein: Einmessbar. Quarzgang: Saiger stehend.	20/90						140/10
Bo29	3403066	5567704	Tonstein: Schichtparalleles Auftreten von Quarz.					340/90		140/10
	3403066	5567704						230/85		
Bo30	3403370	5567260	Quarzgang:	120/90		30				
Bo31	3403568	5566981	Lesesteine: Gehäuftes auftreten von Quarzblöcken. Verlauf etwa 110°.							
Bo32	3403034	5567242	Silt- und Tonstein: Feinlagig, grau. Quarzgang: Schwach ausgeprägt.	120/65		30				130/10
Bo33	3403031	5568252	Tonstein: Mit Störungsfläche. Quarzgang: Mächtigkeit wenige cm.	20/90		30				
Bo34	3403078	5568199	Ehemaliger Stollen.							
Bo35	3403228	5564905	Tonstein: Sattelstruktur (Faltenachse 40°-50° Verlauf).						140/60	135/20
Bo36	3396275	5567821								
Bo37	3396157	5568129	Tonstein: Glimmerführend.						140/55	
	3396157	5568129							300/85	
Bo38	3396374	5568106	Tonstein: Grau, glimmerführend, fossilführend, mit Störungsfläche und Bewegungs- marken auf der Störungsfläche.		90/5		180/80			
B039	3396374	5568106	Tonstein: Klüfte z. T. mit Quarz verschlossen.					0/45	310/90	345/45
	3396374	5568106						215/85		
Bo40	3396522	5567976	Lesesteine: Quarzblöcke mit Eisenmineralen durchsetzt.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo41	3396533	5567976	Tonstein:							80/30
Bo42	3396556	5568075	Lesesteine: Konglomerat mit Eisenmineralen durchsetzt.							
Bo43	3396869	5568104	Tonstein: Mit Muldenstruktur (Faltenachse 30°-50° Verlauf).							
Bo44	3396705	5568316	Siltstein: Glimmerführend, grün-grau.							
Bo45	3396641	5568360	Tonstein: Grau.					220/85	150/80	110/10
	3396641	5568360						155/85	110/60	
Bo46	3396211	5568990	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung.							320/50
Bo47	3395757	5569070	Lesesteine: Rote Tonsteine und Quarzblöcke mit gut ausgebildeten Quarzkristallen.							
Bo48	3395587	5569235	Tonstein: Mit Quarzrasen, der Eisenanreicherung enthält. Lesesteine: Rote Tonsteine.							
Bo49	3395489	5569103	Lesesteine: Rote Tonsteine mit Quarzrasen, der Eisenanreicherungen enthält.							
Bo50	3402102	5566215	Tonstein: Grau.						160/40	130/5
Bo51	3402139	5566244	Tonstein (ehemaliger Steinbruch): Mit schichtparallelen Quarzgängen. Klüftung durch gut auskristallisierten Quarz verheilt. Aufgeschlossener Quarzgang.	270/60						
Bo52	3402527	5566452	Tonstein: Mit Störungsflächen. Quarzgang: Mächtigkeit wenige cm.				135/45			
Bo53	3402506	5566465	Lesesteine: Quarzblöcke mit gut ausgebildeten Quarzkristallen.							
Bo54	3402347	5566574	Lesesteine: Quarzblöcke mit gut ausgebildeten Quarzkristallen.							
Bo55	3401921	5566630	Lesesteine: Quarzblöcke, dm ³ groß, z. T. rötlich gefärbt.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo56	3402026	5566508	Tonstein: Phylitartig, stark zerrüttet mit Quarz durchsetzt. Quarzgang:	120/70						
Bo57	3402246	5566413	Tonstein:						140/45	100/10
Bo58	3402604	5566594	Lesesteine: Quarzblöcke mit Eisenmineralen durchsetzt.							
Bo59	3402848	5566330	Quarzgang: Im Bereich ehemaliger Pinggen (Verlauf 110°).	120/?		110				
Bo60	3402983	5566018	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo61	3403007	5565880	Lesesteine: Quarzblöcke.			170				
Bo62	3403059	5565728	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo63	3402856	5565571	Tonstein: Vereinzelt schicht- und schieferungsparallele Quarzgänge.							
Bo64	3402727	5565442	Tonstein mit Quarzgang: Mächtigkeit 3-4 m. Randlich dicht, zur Mitte hin Kristallwachstum zu erkennen.	230/60				160/75		230/80
	3402727	5565442						260/65		
Bo65	3402720	5565446	Quarzgang: Mächtigkeit 3-4 m.	230/60						
Bo66	3402632	5565543	Quarzgang: Mächtigkeit 3-4 m.	230/60						
Bo67	3402598	5565803	Lesesteine: Quarzblöcke.			30				
Bo68	3402697	5565936	Lesesteine: Roter Tonstein und rote Quarzblöcke.			30				
Bo69	3402757	5566159	Lesesteine: Quarzblöcke mit Eisenmineralen durchsetzt.							
Bo71a	3402368	5565723	Tonstein: Mit Störungsflächen. Quarzgang: Mächtigkeit 30-50 cm.	100/?				40/85		
	3402368	5565723						115/70		
Bo71b	3402422	5565700	Tonstein/Siltstein: Grau, mit Schrägschichtung. Vereinzelt mit Quarzlinsen durchzogen.							130/10
Bo71c	3402498	5565874	Tonstein/Siltstein: Grau, mit Schrägschichtung. Vereinzelt mit Quarzlinsen durchzogen.							
Bo72	3402244	5566093	Sandstein/Tonstein: Wechselagerung.						150/30	340/10

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo73	3402108	5566116	Quarzgang: Nicht weit durchhaltend.	30/90						
Bo74	3402243	5565900	Tonstein: Mit Störungszone, die mit Quarz belegt ist.							
Bo75	3402634	5565689	Lesesteine: Quarzblöcke							
Bo76	3402745	5565406	Quarzgang:							
Bo77	3402965	5565292	Tonstein: Nicht einmessbar.							
Bo78	3402747	5565444	Quarzgang: Verlauf 30°							
Bo79	3402687	5564957	Tonstein: Mit Störung (nicht einmessbar).							
Bo80	3402733	5565004	Tonstein:							
Bo81	3402506	5565099	Tonstein: Mit steilstehender Bewegungsbahn.							
Bo82	3402589	5565015	Tonstein: Mit Störungszone, Mächtigkeit 30 cm. Tonstein stark zerkleinert.				120/70			
Bo83	3403668	5565437								
Bo84	3403675	5565454	Tonstein: Mit Störungszone, Mächtigkeit 2 m. Gut auskristallisierter Quarz als Spaltenfüllung. Schichtumbiegen im Störungsbereich.				120/60	230/85		
	3403675	5565454					30/70			
Bo85	3403292	5565262	Tonstein: mit Störungsflächen. Quarzgang: Mächtigkeit wenige cm.				120/70			
	3403292	5565262					25/10			
Bo86	3403289	5565287	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo87	3303196	5565389	Lesesteine: Quarzblöcke mit Eisenmineralisationen belegt. Rote Tonsteine							
Bo88	3402984	5564994	Tonstein und Siltstein: Quarz als Kluftfüllung.					110/82	140/45	150/25
	3402984	5564994						15/85		
Bo89	3403053	5565121	Tonstein: Mit Störungsflächen. Schichtumbiegen im Bereich der Störungszone.				120/80			

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo90	3402903	5565228	Tonstein: Mit Störungsflächen.				120/70			
Bo91	3402985	5565228	Tonstein:							
Bo92	3403801	5565653	Lesesteine: Tonstein							
Bo93	3403928	5565556	Quarzgang: Mächtigkeit wenige cm.	130/40			120/60			
Bo94	3403734	5565200	Pingen: Verlauf 110°.			110				
Bo95	3403627	5565241	Pingen: Verlauf 110°.			110				
Bo96	3403607	5565227	Pingen: Verlauf 110°.			110				
Bo97	3396616	5565655	Tonstein:						145/55	
Bo98	3396199	5565945	Tonstein:					120/40		120/45
	3396199	5565945						170/70		
Bo99	3395902	5566386	Siltstein: Bankig, grau.					30/85	140/50	120/40
	3395902	5566386						190/80		
Bo100	3395853	3366687	Tonstein:						140/60	
Bo101	3395779	5567324	Tonstein:					230/70		
Bo102	3395402	5567166	Tonstein und Siltstein: Dunkel grau.					215/85	145/50	
Bo103	3394772	5567754	Lesesteine: Sandstein, weiß, gelblich verwitternd, mit Eisenmineralisationen durchsetzt. Pingen			105				
Bo104	3394876	5567736	Lesesteine: Sandstein, weiß, gelblich verwitternd, mit Eisenmineralisationen durchsetzt. Pingen			105				
Bo105	3394967	5567684	Lesesteine: Sandstein, weiß, gelblich verwitternd, mit Eisenmineralisationen durchsetzt. Pingen			105				
Bo106	3394902	5567611	Lesesteine: Sandstein, stark mit Eisenmineralen durchsetzt. Pingen: Verlauf 30°			30				
Bo108	3394790	5567565	Pingen: Weiterer Verlauf.			30				
Bo109	3394584	5567482	Tonstein:						130/70	
Bo110	3396141	5567212	Tonstein: Mit Störungsflächen und Bewegungsmarken.				120/50			
Bo111	3396727	5567739	Tonstein: Mit Störungsflächen und Bewegungsmarken				285/30	75/72	320/80	320/75

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
	3396727	5567739						188/65		
Bo112	3394394	5567859								
Bo113	3394277	5567928	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo114	3394246	5567911	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo115	3394166	5567891	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo116	3394047	5567772	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo117	3394179	5568166	Sandstein (ehemaliger Steinbruch): Weißlich-grau, mit Störungszone. Im Bereich der Störung Gestein stark mit Quarz durchsetzt und rot gefärbt.				115/75			
Bo118	3394440	5568331	Sandstein: Rot, mit Faserquarz.							
Bo119	3394526	5568442	Sandstein: Rot, mit Faserquarz.							
Bo120	3394588	5568466	Sandstein: Weiß.							
Bo121	3394600	5568463	Sandstein: Rot, mit Quarzrasen.							
Bo122	3394435	5568033	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo123	3394479	5568079	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo124	3394508	5568100	Wall beim Parkplatz Landwehr							
Bo125	3394558	5568117	Quarzit: Glimmerführend, weiß-grau, gelblich verwitternd. Lesesteine: Mit Faserquarz und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo126	3395375	5568939	Quarzit: Glimmerführend, weiß-grau, rötlich verwitternd. Mit Faserquarz und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo127	3395419	5569104	Lesesteine: Quarzit, rot, mit Faserquarz und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo128	3395342	5569031	Lesesteine: Quarzit, Drusen mit gut auskristallisiertem Quarz.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo129	3395288	5569160	Quarzit							
Bo130	3395099	5569034	Quarzit							
Bo131	3395224	5568945	Quarzit							
Bo132	3398381	5566420	Tonstein						90/90	
Bo133	3398540	5566420	Tonstein: Mit Quarzgang, Mächtigkeit wenige cm.	40/?			110/55			
Bo134	3398518	5566370	Tonstein:							
Bo135	3398495	5566200	Stolleneingang: Störungsflächen				125/65			
Bo136	3398600	5566278	Tonstein (ehemaliger Steinbruch):					280/80		
	3398600	5566278	Tonstein (ehemaliger Steinbruch):					110/65		
Bo137	3398426	5565899	Tonstein (ehemaliger Steinbruch):							
Bo138	3398187	5565868	Tonstein/Siltstein (ehemaliger Steinbruch): Von Quarz durchzogen.							
Bo139	3398384	5566144	Quarzgang:	100/30				280/85		
Bo140	3398670	5566451	Tonstein mit Quarzgang: Mit flach einfallenden Bewegungsmarken.	110/85	20/5			110/85		
Bo141	3398666	5566486	Tonstein: Mit Kleinfalten (Faltenachse 126/60)							260/65
	3398666	5566486								105/60
Bo142	3398632	5566472	Quarzgang: Mächtigkeit 20 cm, nicht gut einmessbar.							
Bo143	3398617	5566623	Quarzit:			30				
Bo145	3397099	5566323	Tonstein: Glimmerführend auf Schieferungsflächen, grau.					210/70		
Bo146	3396845	5566291	Tonstein: Glimmerführend, grau.					210/60	140/75	
	3396845	5566291						320/35		
Bo147	3396822	5566660	Tonstein:						135/65	
Bo148	3396815	5566773	Tonstein: Mit flacher Überschiebungsbahn und Schichtumbiegen im Bereich der Störungszone.				110/35	310/60		140/60

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo149	3396815	5566773						4/85		
	3396766	5567092	Siltstein: Grau-grünlich.					245/85		120/50
	3396766	5567092						306/85		
Bo150	3396877	5567284	Siltstein: Fossilführend, grau-grünlich.							
Bo151	3396820	5567345	Tonstein:					300/85		145/50
	3396820	5567345						60/85		
	3396820	5567345						160/90		
Bo152	3396915	5567483	Tonstein: Grau.							180/40
Bo153	3397008	5567592	Tonstein					240/70		140/45
	3397008	5567592						163/75		
	3397008	5567592						60/75		
Bo154	3397272	5567830	Tonstein: Mit Störungszone. Gestein aufgelockert.				80/75			
Bo155	3397721	5567891	Tonstein: Mit Störungsfläche. Quarzgang: Mächtigkeit wenige cm.					192/70		110/35
	3397721	5567891								
	3397885	5567829	Tonstein: Glimmerführend, dunkelgrau-bläulich, schwarz verwitternd.				197/72	220/70		
Bo156								220/90		140/60
Bo157	3398271	5567456	Tonstein:					250/70		
	3398271	5567456						5/70		
	3398271	5567456						182/25		130/10
Bo158	3398271	5567456	Tonstein:					138/45		
	3398271	5567456						10/85		
	3398271	5567456								
Bo159	3397314	5566961	Tonstein:					130/65	130/70	
Bo161	3395381	5570351	Sandstein: Weiß, gelblich verwitternd. Lesesteine: Stark eisenmineralhaltiges Gestein (Eisenerz).			30		55/70		
Bo162	3395704	5570171	Lesesteine: Konglomerat von Eisenmineralen durchsetzt.							
Bo163	3395402	5569907	Tonstein:							
Bo164	3395536	5569807	Silt- bis Sandstein/Tonstein: Wechsellagerung.							340/20

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo165	3395552	5569511	Quarzit: Mit Quarz durchzogen und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo166	3395991	5569324	Lesesteine: Tonsteine und Siltsteine, grau mit Faserquarz und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo167	3395869	5569360	Sandstein: Weiß, lagenweise rote Färbung.							
Bo168	3395730	5569477	Sandstein: Weiß. Quarzgang, Mächtigkeit 5 cm.							
Bo169	3396339	5570340	Lesesteine: Konglomerat und Sandsteine, rötlich dunkelbraun. Von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo170	3396543	5570701	Lesesteine: Konglomerat und Sandsteine, rötlich dunkelbraun. Von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo171	3396666	5570393	Lesesteine: Konglomerat von Eisenmineralen durchsetzt und Quarzblöcke.							
Bo172	3396722	5570459	Quarzit:							
Bo173	3396871	5570527	Lesesteine: Konglomerat von Eisenmineralen durchsetzt.							
Bo174	3396976	5570504	Sandstein: Weiß, gelblich verwitternd, von Mangankrusten und vereinzelt Quarzadern durchzogen.							
Bo175	3396979	5570400	Silt- und Tonstein:					100/85		
Bo176	3397060	5570411	Silt- und Tonstein: Rot. Eine Zone in der das Gestein ausgeblichen und mürbe ist.					90/85	330/45	305/75
	3397060	5570411						175/70		
Bo177	3396979	5570329	Tonstein: Mit Störungsflächen und flach einfallenden Bewegungsmarken.		310/15		215/50			

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo178	3397234	5570427	Tonstein: Vereinzelt rot gefärbt, mit Quarzgängen, Mächtigkeit bis 5 cm, durchsetzt.							
Bo179	3397314	5570380	Sandsteine: Von Eisenmineralisationen durchsetzt.			110				
Bo180	3397358	5570269	Lesesteine: Sandsteine, von Eisenmineralisationen durchsetzt. Quarzblöcke.							
Bo181	3396404	5569936	Lesesteine: Quarzit von Eisenmineralisationen durchsetzt. Quarzrasen mit Eisenmineralisationen belegt.							
Bo182	3396155	5569911	Quarzit: Mit Quarzgängen durchzogen und von Eisenerzmineralisationen durchsetzt.							
Bo183	3396229	5569962	Sandstein							
Bo184	3395868	5570092	Lesesteine: Sandstein, von Eisenmineralisationen durchsetzt. Konglomerat, von Eisenmineralen durchzogen.							
Bo185	3394510	5571111	Lesesteine: Quarzblöcke							
Bo186	3394541	5571115	Sandstein: Mit Tonsteinlagen, durchzogen mit Eisenmineralisationen (senkrecht zur Schichtung).							
Bo187	3394550	5571131	Lesesteine: Quarzit, rot verwitternd.							
Bo188	3394731	5571071	Lesesteine: Quarzit, fossilführend.							
Bo189	3394701	5571201	Lesesteine: Konglomerat.				175/75			
Bo190	3403027	5565883	Lesesteine: Quarzblöcke, m ³ groß.	30/?						
Bo191	3403138	5566494	Lesesteine: Quarzblöcke mit Tonsteinfragmenten.							
Bo192	3403056	5566489	Lesesteine: Quarzblöcke.							
Bo193	3402370	5573260	Quarzgang:							
Bo194	3402398	5573245	Quarzgang:							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo195	3402406	5573243	Quarzgang: Mit flach einfallenden Bewegungsmarken.	20/90	198/2,5					
Bo196	3394701	5571621	Tonstein: Plattig.					215/50	145/65	145/65
Bo197	3394696	5571655	Lesesteine: Konglomerat.							
Bo198	3395147	5572778	Tonstein (ehemaliger Steinbruch): feinplattig, grau.					30/70	318/45	318/42
	3395147	5572778						310/75		
	3395147	5572778						120/45		
Bo199	3395302	5572464	Lesesteine: Quarzit, glimmerführend, von Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo200	3395266	5572274	Tonstein:						310/70	310/70
Bo201	3395352	5572164	Tonstein:							130/35
Bo202	3395348	5571891	Lesesteine: Konglomerat.							
Bo203	3395412	5571774	Tonstein: Lesesteine: Konglomerat.							
Bo204	3395023	5571529	Lesesteine: Konglomerat.							
Bo205	3395027	5571520	Lesesteine: Konglomerat.							
Bo206	3394945	5570077	Lesesteine: Sandstein, rot verwitternd, mit Quarzrasen. Schwarze Eisenerze.			30				
Bo207	3394945	5570077	Lesesteine: Siltführender Sandstein und quarzitischer Sandstein.							
Bo208	3395684	5568775	Lesesteine: quarzitischer Sandstein von Quarz durchzogen.							
Bo209	3396250	5569082	Tonstein: Gestein stark zerlegt.				295/40			
Bo210	3396250	5569082	Tonstein: Gestein stark zerlegt mit Störungsflächen.				330/60			330/60
Bo211	3396747	5570285	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, rötlich verwitternd, von Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo212	3396875	5570250	Lesesteine: Sandstein, gelbliche, mit gut auskristallisiertem Quarz.							
Bo213	3396972	5570252	Tonstein:				305/85			305/85

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo214	3397022	5570266	Tonstein: Fossilführend.							
Bo215	3397022	5570266	Lesesteine: Konglomerat von Mineralisationen durchzogen.							
Bo216	3397268	5570118	Lesesteine: Siltführender Sandstein, grünlich grau, vereinzelt schillführend.							
Bo217	3397268	5569759	Lesesteine: Siltstein, grünlich grau, rot verwitternd, mit Faserquarz.			30				
Bo218	3397495	5569885	Lesesteine: Siltstein, rot verwitternd, z. T. von dunklen Mineralisationen durchzogen.							
Bo219	3397363	5569808	Lesesteine: Siltstein, grünlich grau, rot verwitternd, mit Faserquarz.							
Bo220	3397303	5569757	Lesesteine: Siltstein, grünlich grau, rot verwitternd, mit Faserquarz.							
Bo221	3397700	5569513	Lesesteine: Siltstein, glimmerführend, gelblich grau verwitternd.							
Bo222	3397775	5569866	Siltstein und Tonstein:							
Bo223	3397031	5569819	Lesesteine: Siltstein, glimmerführend, gelblich grau.							
Bo224	3398213	5568161	Tonstein: Klüfte z. T. mit Quarz verschlossen.					150/85		
Bp224a	3398235	5568080	Tonstein: Lagenweise Siltstein.			150		220/85		128/35
Bo225	3398029	5568266	Tonstein:					330/80	315/85	140/40
Bo226	3398161	5568882	Tonstein:							
Bo227	3398195	5569024	Tonstein: Mit Störungszone. Gestein aufgelockert.				00/90			330/80
	3398195	5569024					340/80			
Bo228	3398233	5569196	Tonstein:							
Bo229	3398064	5569664								135/55
Bo230	3397956	5569261	Tonstein/Siltstein: Glimmerführend mit Störungsflächen und Schichtumbiegen.				136/25	230/85		

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
	3397956	5569261						8/55		
Bo232	3396891	5570679	Lesesteine: Quarzblöcke mit Eisenmineralen durchsetzt und Tonsteine mit Eisenmineralisationen.							
Bo233	3397053	5570735	Sandstein: Mit Eisenmineralisationen. Lesesteine: Quarzit							
Bo234	3397036	5571189	Lesesteine: Quarzit, weißlich mit gut auskristallisiertem Quarz.							
Bo235	3397090	5571229	Lesesteine: Sandstein, glimmerführend.							
Bo236	3397111	5571282	Quarzit: Rötlich verwitternd, von Quarz durchsetzt.							
Bo237	3397130	5571300	Lesestein: Quarzblöcke, m ³ groß, teilweise gut ausgebildete Quarzkristalle.							
Bo238	3397530	5570963	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo239	3397554	5570918	Lesesteine: Sandsteine, fossilführend, mit Eisenmineralisationen. Quarzit mit Quarz auf Klüftflächen.							
Bo240	3397463	5570807	Lesesteine: Sandstein mit Mineralisationen. Quarzitischer Sandstein.							
Bo242	3397324	5570773	Lesesteine: Siltstein, rot verwitternd, z. T. von Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo243	3397362	5570708								
Bo244	3397229	5570716	Lesesteine: Sandstein, rot verwitternd.							
Bo246	3397004	5570411	Siltstein: Grau, rot verwitternd.					280/85		305/75
	3397004	5570411						175/80		
Bo247	3397004	5570452	Siltstein: Mit tonigen Lagen.					195/60	335/70	110/85

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo248	3397101	5570396	Sandstein: Glimmerführend.					330/60		
Bo249	3397391	5570561	Lesesteine: Sandstein, teilweise mit Mangankrusten.							
Bo250	3397478	5570514	Sandstein: Mit Mangankrusten.							
Bo251	3397425	5570269	Lesesteine: Sandstein, rot mit Eisenmineralisationen. Quarzblöcke mit gut ausgebildeten Kristallen und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo252	3397803	5570148	Siltstein: Grau.					70/85		
Bo253	3398311	5570016	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein mit Eisenmineralisationen.			105				
Bo254	3398236	5569903	Pinge:							
Bo255	3398110	5569855	Lesesteine: Tonstein.							
Bo256	3398127	5569780	Lesesteine: Tonstein.							
Bo257	3398331	5569646	Lesesteine: Tonstein.							
Bo258	3398345	5569832	Lesesteine: Tonstein.							
Bo259	3398622	5570050	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung von Quarz durchzogen.							
Bo260	3398200	5570085	Tonstein:							
Bo261	3397988	5569931	Tonstein:							
Bo262	3397937	5569946	Halde: Tonstein, rot verwitternd und von Quarz durchzogen.							
Bo264	3396892	5571048	Tonstein:							
Bo265	3397214	5571556	Quellaustritt: Verockerung der Quelle.							
Bo266	3397088	5571674	Lesesteine: Quarzit, gelblich verwitternd.			30				
Bo267	3397295	5571766	Lesesteine: Quarzit.							
Bo268	3397094	5571889	Lesesteine: Quarzit mit Quarzrasen und Drusen mit gut ausgebildeten Quarzkristallen.							
Bo269	3997094	5571994	Lesesteine: Tonstein.							
Bo270	3397020	5571990	Halde: Quarzit mit Quarzrasen, z. T. rot gefärbt.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo271	3396992	5571969	Lesesteine: Quarzit.							
Bo272	3396898	5571975	Lesesteine: Quarzit.			30				
Bo273	3396862	5571889	Lesesteine: Quarzit.							
Bo274	3396794	5571850	Lesesteine: Quarzit, m ³ groß, mit Quarzrasen und Drusen mit gut ausgebildeten Quarz- kristallen.							
Bo275	3396752	5571776	Lesesteine: Quarzit.							
Bo276	3396663	5571597	Lesesteine: Quarzit mit Quarz- rasen und Drusen mit gut aus- gebildeten Quarzkristallen.							
Bo277	3396512	5571486	Quarzit: Quarzführend.							
Bo278	3396590	5571445	Lesesteine: Quarzit.							
Bo279	3396794	5572002	Lesesteine: Quarzit.							
Bo280	3397319	5572381	Quarzitischer Sandstein: Weiß, tiefgründig verwittert.							310/70
Bo281	3397845	5572459	Lesesteine: Quarzit, weißgrau.							
Bo282	3397613	5571993	Tonstein/Siltstein: Wechsella- gerung: Glimmerführend, grau. Mit Bewegungsmarken auf den schichtparallelen Störungsflä- chen.		295/20			61/85		300/55
	3397613	5571993						170/80		
Bo283	3397829	5572112	Tonstein:						290/75	
Bo284	3398005	5571987	Quarzit: Stellenweise stark von Quarz durchsetzt.					220/80	100/70	100/70
	3398005	5571987						298/70		
Bo285	3398132	5571963	Siltstein:							
Bo286	3397530	5571907	Siltstein: Grau.							
Bo287	3397530	5571907	Lesesteine: Quarzit, grau, gelb- lich braun verwitternd.							
Bo288	3397828	5571849	Quarzit: Grau, gelblich braun verwitternd.							320/85
Bo289	3397870	5568306	Tonstein: Mit Siltsteinlagen, glimmerführend, fossilführend.					338/80	150/60	144/60
Bo290	3397653	5568417	Tonstein: Mit Konkretionen.					220/65		
	3397653	5568417						40/65		

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo291	3397499	5568683	Tonstein: Störungsflächen und steil einfallenden Bewegungsmarken.		170/70		240/80	220/60		140/80
Bo292	3397472	5568794	Tonstein: Bewegungsfläche mit Abrisskanten.							
Bo293	3397469	5568897	Tonstein/Siltstein: Mit vereinzelt Feinsandlagen, glimmerführend und vereinzelt schillführend.					40/85		135/55
Bo294	3397533	5569024	Tonstein: Glimmerführend: Rot.							
Bo295	3397569	5569018	Tonstein/Siltstein: Rot.							
Bo296	3397799	5569004	Tonstein/Siltstein: Grau.							135/55
Bo297	3399349	5570275	Tonstein:							
Bo298	3399783	5570707	Tonstein: Mit Konkretionen.					135/45		140/78
Bo299	3400064	5571043	Tonstein: Siltsteinführend, grau mit Störungsflächen und flach einfallenden Bewegungsmarken.		110/35		20/85	310/88		140/50
	3400064	5571043						20/75		
	3400064	5571043						260/65		
Bo300	3401822	5571559	Löss:							
Bo301	3401604	5571449	Löss und Tonstein: Übergang.							
Bo302	3401389	5571358	Tonstein: Mit Konkretionen.							
Bo303	3401243	5571292	Tonstein: Stark verfaltet.							
Bo304	3401056	5571200	Tonstein: Stark verfaltet.							
Bo305	3400350	5570754	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, glimmerführend, von Quarz durchsetzt.			105				
Bo306	3400246	5570884	Lesesteine: Quarzit, m ³ groß, von Quarz durchsetzt.							
Bo307	3400273	5571023	Tonstein:							
Bo308	3399908	5570255	Tonstein:							
Bo309	3394501	5567739	Lesesteine: Quarzit, rot braun, quarzführend.							
Bo310	3398394	5569356	Tonstein: Glimmerführend, grau.					182/85		145/85

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo311	3398699	5569283	Tonstein:							140/82
Bo312	3398767	5569496	Tonstein: Schichtschleppung.							350/65
Bo313	3398783	5569617	Tonstein:							130/30
Bo314	3398900	5569563	Tonstein:							145/70
Bo315	3398815	5569456	Tonstein: Mit Störungsflächen und Bewegungsmarken mit mittelsteilem Einfallen.		149/59		140/50			
Bo316	3397946	5569147	Tonstein: Mit Störungsfläche.				20/80			
Bo317	3398427	5569550	Tonstein:							350/90
Bo318	3399252	5570334	Tonstein: Schwach glimmerführend.					240/85		145/80
Bo319	3399200	5570090	Tonstein:					50/90		130/90
Bo320	3399469	5569885	Tonstein: Mit Störungszone und Bewegungsmarken mit mittelsteilem Einfallen.		300/60		310/60	130/75	150/40	
Bo321	3399383	5569891	Tonstein:					60/70		145/90
Bo322	3399279	5569782	Tonstein: Klüfte z. T. mit Quarz verschlossen.				15/90			130/80
Bo323	3399222	5569795	Tonstein: Mit Konkretionen.					245/45		130/70
Bo324	3399165	5569871	Tonstein:							140/60
Bo325	3399167	5569811	Tonstein: Mit Konkretionen.							120/65
Bo326	3399163	5569751	Tonstein: Mit Quellaustritt.							
Bo327	3398938	5569828	Tonstein:							
Bo328	3398842	5569760	Tonstein:							
Bo329	3397808	5572671	Lesesteine: Quarzit, rot mit Quarzrasen.							
Bo330	3397714	5572617	Lesesteine: Quarzit, rot.							
Bo331	3397664	5572647	Lesesteine: Eisenerze. Pingengefeld (Verlauf 30°)			30				
Bo332	3397424	5572724	Lesesteine: Konglomerat.							
Bo333	3397686	5572771	Lesesteine: Quarzit und wenige Eisenerze.							
Bo334	3397952	5573087	Lesesteine: Quarzit, rot, vereinzelt mit Quarzrasen und Eisenmineralisationen.							
Bo335	3398329	5572959	Lesesteine: Quarzit, rot, vereinzelt mit Quarzrasen und Eisenmineralisationen.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo336	3398225	5573299	Lesesteine: Quarzit, rot, vereinzelt mit Quarzrasen und Eisenmineralisationen.							
Bo337	3398042	5573242	Lesesteine: Quarzit, rot, vereinzelt mit Quarzrasen und Eisenmineralisationen.			30				
Bo338	3398243	5573614	Lesesteine: Quarzit.							
Bo339	3398604	5573703	Lesesteine: Quarzit, rot mit Eisenmineralisationen.			30				
Bo340	3394579	5570139	Lesesteine: Eisenerze.							
Bo341	3397850	5572596	Tonstein:							
Bo342	3398278	5572957	Lesesteine: Quarzblöcke, m ³ groß. Quarzit, rot mit Quarzrasen und von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo343	3398309	5572993	Halde: Eisenerz.			30				
Bo344	3398381	5572966	Quarzit: Mit Quarzrasen.							
Bo345	3398458	5573060	Quarzit: Von Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo346	3398522	5573051	Lesesteine: Quarzit, rot mit Quarzrasen.							
Bo347	3398702	5573030	Sandstein: Weiß, teilweise rot, mit Quarzrasen.							
Bo348	3398514	5573244	Quarzit: Kreuzungsbereich zweier Störungszonen.				110/70		100/90	
	3398514	5573244					25/75			
Bo349	3398484	5573233	Lesesteine: Quarzit, rot mit Quarzrasen.							
Bo350	3398764	5573683	Lesesteine: Quarzit, z. T. rot. Quarzblöcke, von Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo351	3398924	5573757	Lesesteine: Quarzit, rot, mit gut auskristallisierten Quarzmineralen.							
Bo352	3399145	5573352	Quarzit: Grau, gelblich grau verwitternd.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo353	3399017	5573317	Quarzit: Mit einer 10 m Breiten Zone in der das Gestein rot gefärbt ist.							
Bo354	3398350	5572727	Lesesteine: Quarzit, rot. Siltstein, rot und Tonstein, rot.							
Bo356	3399735	5573615	Quarzit: Grau, gelblich verwitternd. Stolleneingang.							
Bo357	3399862	5573798	Siltstein: gelblich grau. Stolleneingang.							
Bo358	3400120	5573920	Lesesteine: Silt- und Sandstein, glimmerführend.							
Bo359	3400313	5573968	Löss: Mit Geröllen von Siltstein, Sandstein, und Quarzit.							
Bo360	3399991	5574450	Lesesteine: Sandstein, grünlich grau, glimmerführend. Quarzit.							
Bo361	3399873	5574347	Lesesteine: Quarzit.							
Bo362	3399902	5574242	Terrassenschotter: Gerölle von Quarz, Quarzit, Sandstein, Siltstein, gerundet.							
Bo363	3399845	5574094	Lesesteine: Quarzit.							
Bo364	3399507	5574021	Quarzit: Hellgrau, vereinzelt rot.							
Bo365	3399412	5574166	Quarzit: gelblich grau verwitternd.							
Bo366	3399085	5574038	Lesesteine: Quarzit von Quarz durchsetzt.							
Bo367	3398973	5573948	Lesesteine: Quarzit, rot.							
Bo368	3399006	5573899	Lesesteine: Quarzit, rot.							
Bo369	3399167	5573841	Quarzit: Grau, gelblich grau verwitternd.							310/70
Bo370	3398727	5573734	Lesesteine: Quarzit.			30				
Bo371	3398306	5572889	Lesesteine: Quarzblöcke mit Drusen. Quarzit mit Eisenmineralisationen.			30				
Bo372	3398368	5572951	Quarzgang: Stark von Eisenmineralisationen durchsetzt.			30				

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo373	3398277	5572728	Lesesteine: Grau mit Quarzrasen, teilweise rot.							
Bo374	3398682	5572750	Lesesteine: Grau mit Quarzrasen, teilweise rot.							
Bo375	3398712	5572494	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung.					220/80	310/60	30/35
	3398712	5572494						256/70	90/55	
Bo376	3398619	5572528	Tonstein:							
Bo377	3398510	5572567	Tonstein:							
Bo378	3398455	5572567	Lesesteine: Siltiger Tonstein. Quarzit.							
Bo379	3398262	5572312	Sandstein: Glimmerführend, auf einer Breite von 20 m mit Eisenmineralisationen.							
Bo380	3398052	5572325	Quarzit: Grau mit Stolleneingang.							
Bo381	3398042	5572342	Siltstein: Grenze Siltstein, Quarzit.					5/80	300/70	300/70
Bo382	3398155	55721555	Lesesteine: Quarzit.							
Bo383	3398059	5572024	Siltstein/Tonstein: Wechsellaagerung mit Quarzitlagen, glimmerführend.					30/90		310/65
	3398059	5572024					115/85	330/40		
Bo384	3398100	5571694	Quarzit: Mit Quarzrasen, teilweise mit Mineralisationen.							
Bo385	3398141	5571750	Quarzit: Mit eingeschalteten Tonsteinlagen.					310/50		125/45
	3398141	5571750						228/80		
Bo386	3398277	5571855	Quarzit: Grau.							
Bo387	3398759	5572148	Quarzit und Tonstein: Grenze zwischen den Gesteinseinheiten aufgeschlossen.						310/45	
Bo388	3399156	5572243	Siltstein:							310/45
Bo389	3399244	5572248	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, mit Schalenresten, grau, gelblich verwitternd.							
Bo390	3398959	5572419	Tonstein:					230/45	310/70	310/35

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo391	3398913	5572653	Tonstein:					225/45		310/60
Bo392	3400301	5572919	Tonstein: Mit Sandsteinlagen, Rinnenstruktur.							
Bo393	3400342	5572948	Terrassenschotter:							
Bo394	3400483	5572897	Sandstein: Mit tonigen Bereichen, glimmerführend, weißlich grau.					220/80		300/60
Bo395	3400609	5572841	Tonstein: Glimmerführend, grau, grünlich grau verwitternd.						305/80	310/80
Bo396	3400736	5572785	Tonstein:					160/45	310/80	
Bo397	3400974	5573007	Tonstein: Nicht einmessbar.							
Bo398	3400798	5573127	Halde: Quarzitischer Sandstein, glimmerführend mit Quarzrasen und Drusen.					160/90		130/70
	3400798	5573127						40/70		
Bo399	3399568	5572493	Tonstein und Sandstein: Grenze zwischen den Gesteinseinheiten aufgeschlossen. Sandstein, schwach glimmerführend, mit Pflanzenresten, grau.							
Bo400	3399453	5572597	Lesesteine: Tonsteine stark von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo401	3399382	5572624	Lesesteine: Tonsteine, rot, glimmerführend.							
Bo402	3399433	5570700	Lesesteine: Tonsteine stark von Eisenmineralisationen durchsetzt.							
Bo403	3401033	5571912	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung.					40/50		138/85
	3401033	5571912						240/70		
Bo404	3401110	5571777	Tonstein: Nicht einmessbar.							
Bo405	3400349	5571319	Tonstein:							140/60
Bo406	3400272	5571274	Tonstein: Mit Siltsteinlinsen.					130/45		140/30
	3400272	5571274						220/85		

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
	3400272	5571274						232/65		
Bo407	3400026	5571061	Tonstein: Nicht einmessbar.							
Bo408	3399870	5571056	Boden (tonig): Auf einer Strecke von 10 m starke Rotfärbung.							
Bo409	3399694	5571062	Tonstein: Schillführend.							
Bo410	3399658	5571089	Tonstein: Schillführend.					250/90	140/70	320/60
Bo411	3399647	5571283	Lesesteine: Tonsteine von Mineralisationen durchsetzt.							
Bo412	3399761	5571375	Lesesteine: Tonsteine von Mineralisationen durchsetzt.							
Bo413	3403299	5569986	Tonstein: Phylitartig mit Störungszone.				240/15			
Bo414	3403214	5570074	Tonstein: Leicht phylitisch, glimmerführend, grau grün. An Störungsflächen Schichtschleppung.				315/55			
Bo415	3403137	5570005	Tonstein: Mit Quarzgängen, Mächtigkeit 15 cm.							210/5
Bo416	3403110	5570005	Quarzgang: Mächtigkeit 2 m.	20/90						
Bo417	3403080	5570047	Quarzgang: Mächtigkeit 1 m.	20/90			300/90			
Bo418	3403172	5569992	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung.							210/15
Bo419	3403264	5569948	Tonstein: Mit Quarzgängen, Mächtigkeit 5 cm.	205/50						
Bo420	3403211	5569831	Tonstein: Mit Muldenstruktur.					60/70		265/40
Bo421	3403176	5569880	Tonstein:					290/50		230/5
Bo422	3403163	5569671	Tonstein: Stark zerkleinert.							
Bo423	3403005	5570088	Tonstein: Mit vereinzelt Siltsteinlagen.					44/72		210/10
Bo424	3403055	5570215	Tonstein: Mit schichtgebundenen Quarzgängen.					55/65	170/40	22/10
Bo425	3403066	5569530	Terrassenschotter:							
Bo426	3402940	5569479	Tonstein: Phylitisch, grau, mit Störungsflächen.				123/90			
	3402940	5569479					140/85			
	3402940	5569479					192/80			

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo427	3402987	5569435	Tonstein:							
Bo428	3402949	5569434	Tonstein:							
Bo429	3402886	5569334	Tonstein:							
Bo430	3402291	5569182	Tonstein: Mit vereinzelt Siltsteinlagen. Quarzlinsen im Tonstein.					200/65		
Bo431	3402343	5569133	Tonstein:							85/10
Bo432	3402491	5569000	Tonstein: Störungszone mit Quarzgängen.	60/?						
Bo433	3402239	5568988	Tonstein/Siltstein: Wechsella- gerung					200/80		120/10
Bo434	3402127	5569028	Tonstein: Von Quarz durch- setzt.				20/20			120/45
Bo435	3401975	5569143	Tonstein/Siltstein: Wechsella- gerung. Kluftflächen z. T. mit Quarz belegt.					250/60		300/10
Bo436	3024165	5569086	Tonstein: Mit Quarz auf den Schieferungsflächen.							
Bo437	3401485	5569380	Tonstein: Mit Quarz auf den Schieferungsflächen.							
Bo438	3401797	5569247	Tonstein: Mit Störungszone. Quarz parallel zur Störungszo- ne.				310/15		155/30	
	3401797	5569247					40/15			
Bo439	3401516	5569316	Tonstein: Grau, mit Siltstein- lagen und Schieferungsparalle- lem Quarzgang.	290/50			325/65	130/85	290/50	120/25
Bo440	3401189	5569345	Tonstein: Grau. Kluftflächen mit Quarz belegt.				110/5	190/90	126/35	
	3401189	5569345						228/80		
Bo441	3401036	5569582	Tonstein: Glimmerführend, grün grau mit Störungszone							
Bo442	3400878	5569583	Terrassenschotter:							
Bo443	3400679	5569578	Siltstein: Tonig, glimmerfüh- rend, grünlich braun.							
Bo444	3400280	5569615	Tonstein: Grau, mit Störungs- flächen.				305/70		90/60	140/45

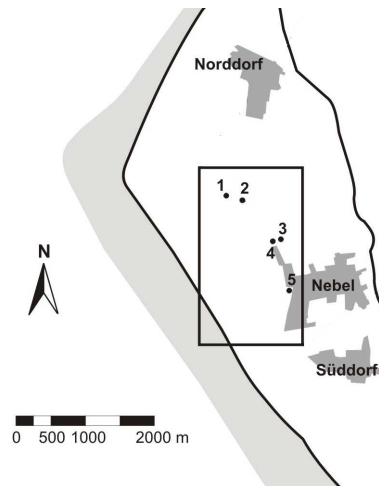
Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo445	3399889	5569551	Tonstein: Grau.					190/90	140/45	
	3399889	5569551						260/80		
Bo446	3399674	5569674						160/80	145/70	
	3399674	5569674	Tonstein:					245/85		
Bo447	3399487	5569420	Tonstein:							
Bo448	3399556	5569463	Tonstein: Mit Störungsflächen und Schichtschleppung.				200/25			200/25
Bo449	3399363	5569465	Tonstein: Glimmerführend, grau, mit Störungsflächen und steil einfallendem Bewegungsmarken.		20/75		330/85	135/60		234/80
	3399363	5569465					118/30			
	3399363	5569465					198/80			
	3399363	5569465					356/50			
Bo450	3401918	5570892	Tonstein: Glimmerführend, grau, mit Störungsfläche. Tonstein zerkleinert im Bereich der Störungsfläche.				140/60			
Bo451	3401662	5571042	Tonstein: Nicht einmessbar.					322/85	145/60	
Bo452	3401309	5570987	Tonstein: Stark zerkleinert, mit Strörungszone.				118/85	192/85		120/80
	3401309	5570987						80/45		155/70
Bo453	3400820	5570787	Tonstein:					80/90		
Bo454	3400849	5570736	Tonstein: Mit Störungsflächen und flach einfallendem Bewegungsmarken.		230/5		148/60			140/80
Bo455	3401179	5570710	Terrassenschotter:							
Bo456	3401675	5570950	Terrassenschotter/Tonstein: Grenze zwischen diesen Einheiten.							
Bo457	3401984	5571266	Terrassenschotter (ehemalige Kiesgrube):							
Bo458	3400137	5570433	Tonstein: Grau					190/60	120/60	130/40
Bo459	3400292	5570556	Tonstein: Mit Störungszone, Mächtigkeit 5 cm.				170/60			
Bo460	3402685	5570572	Tonstein: Nicht einmessbar.							
Bo461	3402727	5570637	Tonstein: Mit Störungsfläche.				100/75			

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo462	3402759	5570575	Terrassenschotter:							
Bo463	3395629	5571769	Lesesteine: Quarzit, rot mit Eisenmineralisationen.							
Bo464	3395511	5571853	Lesesteine: Quarzit mit Quarzrasen. Sandstein, z. T. quarzitisch mit Quarzrasen und Eisenmineralisationen. Konglomerat mit Eisenmineralisationen.							
Bo465	3395458	5571968	Sandstein: Quarzitisch mit Eisenmineralisationen belegt. Lesesteine: Quarzit mit Quarzrasen und von Eisenerzmineralisationen durchsetzt.	40/?						
Bo466	3395408	5572073	Lesesteine: Quarzit von Quarzgängen durchzogen.					200/65		
Bo467	3394921	5572286	Siltstein: Nicht einmessbar.							
Bo468	3394917	5572260	Siltstein: Grün grau, mit Störungsflächen und flach einfallenden Bewegungsmarken		310/30		Okt 45			
Bo469	3395101	5571794	Terrassenschotter:							
Bo470	3395101	5571792	Terrassenschotter:							
Bo471	3395195	5571808	Terrassenschotter:							
Bo472	3395201	5571795	Terrassenschotter:							
Bo473	3395265	5571275	Terrassenschotter: z. T. von Mineralisationen durchsetzt.							
Bo474	3395361	5571325	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, rötlich, mit Quarzrasen.							
Bo475	3395382	5571317	Lesesteine: Konglomerat, mit Eisenmineralisationen durchzogen.							
Bo476	3402293	5568274	Tonstein: Mit Störungszone (Aufschiebung).				276/5			130/60
	3402293	5568274					120/60			115/20
Bo477	3400431	5568168								

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo478	3400184	5568151	Tonstein: Phylitisch, mit Schichtschleppung, Quarzgängen und Störungsfläche.				205/88	250/80	40/25	
	3400184	5568151						60/65		
Bo479	3395491	5573210	Siltstein: Fossilführend, mit Tonsteinlagen.					230/90		320/72
Bo480	3395326	5573603	Siltstein/Tonstein: Wechsellaagerung, glimmerführend, grau grün.					120/30		330/50
Bo481	3395370	5573798	Siltstein: Glimmerführend, gelblich braun, mit Störungsfläche.				190/60			
Bo482	3395351	5573861	Tonstein: Fließerde.							
Bo483	3395316	5573971	Tonstein: Schillführend, mit Kolkmarken.							120/87
Bo484	3395316	5573971	Tonstein: Schillführend, grau.							300/85
Bo485	3395898	5574192	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, rot.							298/60
Bo488	3397403	5572107	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, rot.							
Bo489	3395053	5572720	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung, schillführend, mit Rippelmarken.					266/70		320/62
	3395053	5572720						50/75		
	3395053	5572720						326/70		
Bo490	3395053	5572720	Siltstein/Sandstein: Wechsellaagerung, mit glimmerführenden Tonsteinlagen und einer Störungsfläche.				135/70	195/45		305/70
	3395053	5572720						210/80		325/60
Bo491	3395181	5573055	Tonstein/Siltstein: Wechsellaagerung.							330/50
Bo492	2605150	5572294								
Bo493	3398178	5571389	Lesesteine: Quarzitischer Sandstein, fossilführend, gelblich verwitternd. Boden in der Umgebung teilweise rot gefärbt.							

Kurz-ID	Rechtswert	Hochwert	Kurzbeschreibung	Quarzgänge	Lineare	Abbaue	Störungen	Klüftung	Schieferung	Schichtung
Bo494	3398291	5571315	Sandstein/Tonstein: Grenze der Einheiten. Tonstein mit Störungsfläche und flach einfallendem Bewegungslinear.		250/5		160/85			18/50
Bo495	3398291	5571315			72/35		182/70			
	3398393	5571217	Tonstein/Siltstein: Wechsellagerung, schillführend, von Eisenmineralisationen durchsetzt.							138/70
Bo496	3398285	5571556	Tonstein: Grau, mit Siltsteinlagen.							115/90
Bo497	3398399	5571706	Lesesteine: Siltsteine, fossilführend, weiß und teilweise rot.							
Bo498	3399135	5571527	Terrassensedimente (alte Kiesgrube):							
Bo499	3399036	5570960	Siltstein: Glimmerführend, fossilführend mit Störungsfläche. Vereinzelt Faserquarz, Quarzrasen und Eisenmineralisationen.				225/85		165/50	330/80
Bo500	3398984	5570743	Tonstein: Glimmerführend, grünlich grau.							
Bo501	3399110	5570881	Tonstein: Glimmerführend, grau, mit Schleifmarken und Störungsflächen.				100/60	28/82		166/60
	3399110	5570881					82/90			
	3399110	5570881					180/82			
Bo502	3399165	5570991	Tonstein: Glimmerführend, schillführend, grau.							

A.2 Sondierprofile der Sedimentprofile des Untersuchungsgebietes Amrum



Lage der Sondierpunkte zur Gewinnung der Sedimentprofile auf Amrum. Kartengrundlage

©Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein 2006.

Sedimentprofil Standort 1		Rechtswert	Hochwert
		3456662	6059445
Tiefe in m	Beschreibung		
0-0,25	Feinsand, grau mit Pflanzenresten		
0,25-0,45	Feinsand, braungrau mit Pflanzenresten		
0,45-0,50	Feinsand, rotbraun mit Rostflecken		
0,50-1	Feinsand, grau, Rostflecken, Fe-Konkretionen		

Sedimentprofil Standort 2	Rechtswert	Hochwert
	3456926	6059393

Tiefe in m	Beschreibung
0,05-0,35	Feinsand-Mittelsand, hell-grau
0,35-1	Feinsand-Mittelsand, bräunlich grau

Sedimentprofil Standort 3	Rechtswert	Hochwert
	3457419	6058852

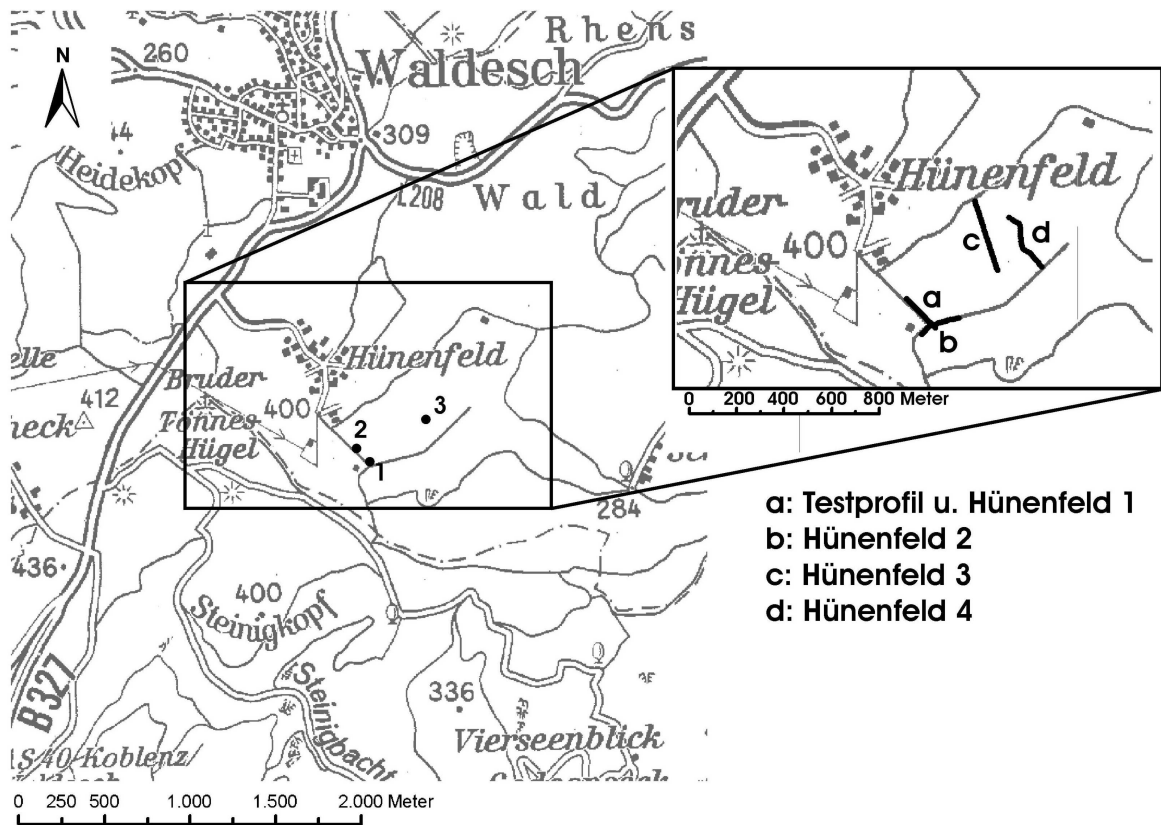
Tiefe in m	Beschreibung
0,15-0,25	Feinsand-Mittelsand, grau
0,25-0,30	Feinsand-Mittelsand, rötlich braun, schwarz-fleckig
0,30-0,65	Feinsand-Mittelsand mit Schluffanteil, Kiese, grau
0,65-0,95	Schluff-Feinsand, rötlich braun mit Pflanzenresten

Sedimentprofil Standort 4		Rechtswert	Hochwert
		3457317	6058337
Tiefe in m	Beschreibung		
0,15-0,45	Mittelland, nach unten feinsandiger, dunkelgrau mit Pflanzenresten		
0,45-50	Feinsand mit Tonanteil, grau schwarz		
0,50-0,85	Feinsand-Mittelsand mit Schluffanteil, vereinzelt Kiese, rötlich braun		
0,85-1	Feinsand, mit Schluff- und Tonanteil, Kiese, gelblich braun, Fe-Konkretionen, Pflanzenresten		

Sedimentprofil Standort 5		Rechtswert	Hochwert
		3457618	6058109
Tiefe in m	Beschreibung		
0,15-0,50	Feinsand-Mittelsand, hellgrau bis braun, Pflanzenreste		
0,50-0,85	Feinsand mit Schluff- und Tonanteil, dunkelbraun		
0,85-0,95	Kernverlust		
0,95-1	Feinsand mit Grobsandanteil, rötlich braun, Fe-Konkretionen		

A.3 Ergebnisse der Bodenluftmessungen

A.3.1 Raum Koblenz



Lage der Profile zur Bodenluftmessung im UG Raum Koblenz Geobasisinformationen (TK 25) ©Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz.

Heliumkonzentrationen der Bodenluft der Profile im UG Koblenz

Profil: Testprofil				Datum: 20.04.2004
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He Hintergrund [ppb]
a1	3396693	5570553	5221	5260
1	3396686	5570560	5434	
2	3396679	5570567	5505	
3	3396672	5570574	5386	
4	3396665	5570582	5390	
5	3396658	5570589	5408	
6	3396651	5570596	5273	
7	3396644	5570603	5124	
8	3396638	5570611	5170	
9	3396631	5570618	5242	
10	3396624	5570625	5293	
11	3396617	5570633	5211	
12	3396610	5570640	5311	
13	3396603	5570647	5326	
14	3396596	5570654	5208	
15	3396590	5570662	5168	
16	3396583	5570669	5292	
17	3396576	5570676	5235	
18	3396569	5570683	5337	
19	3396562	5570691	5216	
20	3396555	5570698	5145	
22	3396548	5570705	5286	
23	3396542	5570713	5243	
24	3396535	5570720	5134	
25	3396528	5570727	5264	
26	3396521	5570734	5259	

Profil: Hünenfeld 1				Datum: 11.04.2005	
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
14 a	2610597	5570672	5205	5204	5236
12a	3396708	5570534	5244	5245	
10	3396701	5570542	5197	5196	
3	3396694	5570549	5483	5500	
8	3396687	5570556	5383	5394	
6	3396681	5570564	5346	5354	
5	3396674	5570571	5278	5282	
20a	3396667	5570578	5248	5250	
21a	3396660	5570586	5297	5302	
23a	3396654	5570593	5311	5317	
26a	3396647	5570600	5263	5266	
27a	3396640	5570608	5159	5155	
29a	3396633	5570615	5305	5311	
31a	3396626	5570622	5167	5164	
33a	3396620	5570630	5186	5184	
35a	3396613	5570637	5134	5128	
37a	3396606	5570644	5243	5245	
39a	3396599	5570652	5282	5286	

Profil: Hünenfeld 2				Datum: 16.05.2006	
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
14 a	3396650	5570509	5079	5070	5218
12a	3396657	5570516	5279	5283	
10	3396664	5570522	5250	5252	
3	3396670	5570529	5225	5332	
8	3396677	5570535	5210	5209	
6	3396684	5570542	5387	5398	
5	3396691	5570546	5458	5473	
20a	3396701	5570547	5357	5366	
21a	3396710	5570549	5175	5172	
23a	3396719	5570551	5288	5292	
26a	3396728	5570553	5119	5112	
27a	3396737	5570556	5236	5237	
29a	3396746	5570558	5570	5593	
31a	3396755	5570560	5187	5185	
33a	3396763	5570563	5206	5205	
35a	3396773	5570565	5220	5220	
37a	3396782	5570566	5173	5170	
39a	3396791	5570568	5302	5307	
41a	3396800	5570569	5346	5354	
43a	3396809	5570571	5370	5380	

Profil: Hünenfeld 3			Datum: 07.06.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
2neu	3396897	5571062	5162	5159	5237
3	3396900	5571053	5260	5263	
4	3396902	5571043	5181	5179	
5	3396905	5571034	5156	5151	
6	3396908	5571024	5214	5213	
7	3396911	5571014	5374	5384	
9	3396913	5571005	5265	5267	
10	3396916	5570995	5549	5571	
11a	3396919	5570985	5325	5332	
12a	3396921	5570976	5342	5350	
14a	3396924	5570966	5199	5198	
15a	3396927	5570957	5262	5265	
20a	3396930	5570947	5262	5265	
21a	3396932	5570937	5221	5221	
22a	3396935	5570928	5202	5200	
23a	3396938	5570918	5235	5236	
24a	3396940	5570908	5369	5378	
25a	3396943	5570899	5263	5266	
	3396946	5570889	Verlust		
27a	3396949	5570880	5273	5276	
28a	3396951	5570870	5254	5256	
29a	3396954	5570860	5224	5225	
30a	3396957	5570851	5248	5249	
31a	3396959	5570841	5258	5260	
32a	3396962	5570831	5288	5293	
33a	3396965	5570822	5260	5262	
34a	3396967	5570812	5200	5199	
35a	3396970	5570803	5246	5248	
37a	3396973	5570793	5268	5271	
38a	3396976	5570783	5240	5241	
39a	3396978	5570774	5208	5207	
40a	3396981	5570766	5205	5204	

Profil: Hünenfeld 4				Datum: 17.04.2007	
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
3	3397039	5570986	5236	5570986	5190
5	3397052	5570978	5184	5570978	
6	3397060	5570971	5145	5570971	
7	3397070	5570966	5119	5570966	
8	3397078	5570959	5254	5570959	
12a	3397084	5570950	5242	5570950	
13a	3397084	5570939	5155	5570939	
14a	3397084	5570928	5273	5570928	
15a	3397084	5570917	5198	5570917	
20a	3397084	5570906	5172	5570906	
21a	3397085	5570895	5246	5570895	
23a	3397085	5570884	5146	5570884	
24a	3397086	5570873	5166	5570873	
25a	3397089	5570863	5155	5570863	
26a	3397092	5570852	5163	5570852	
27a	3397100	5570846	5208	5570846	
28a	3397110	5570840	5190	5570840	
30a	3397119	5570835	5153	5570835	
31a	3397127	5570827	5156	5570827	
32a	3397133	5570818	5754	5570818	
33a	3397140	5570809	5146	5570809	
34a	3397147	5570801	5186	5570801	
35a	3397154	5570792	5224	5570792	
38a	3397160	5570783	5217	5570783	
39a	3397167	5570774	5151	5570774	

He [ppb]: Angezeigte Heliumkonzentration

He [ppb] kor.: Korrigierte Heliumkonzentration

He Hintergrund [ppb]: Mittlere Hintergrundkonzentration des Heliums der unbeeinflussten Bodenluft

Daten der Langzeitmessungen im UG Raum Koblenz

	Standort 1	$r^{33}96685$	$h^{55}70548$	
	Standort 2	$r^{33}96620$	$h^{55}70623$	
	Standort 3	$r^{33}97052$	$h^{60}70819$	
24 h Messung			Datum: 28.08. bis 29.08.2007	
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.
28.08.2007 09:40	1	11a	5612	5638
28.08.2007 10:15	1	p19b	5538	5559
28.08.2007 10:40	1	p3	5718	5750
28.08.2007 11:10	1	p49a	5826	5865
28.08.2007 11:38	1	p44a	5425	5438
28.08.2007 12:09	1	p30a	5369	5379
28.08.2007 12:38	1	p48a	5421	5434
28.08.2007 13:08	1	p11b	5449	5464
28.08.2007 13:38	1	p12b	5417	5430
28.08.2007 14:09	1	p3b	5519	5539
28.08.2007 14:39	1	p8b	5451	5466
28.08.2007 15:08	1	p7b	5947	5995
28.08.2007 15:38	1	p15b	5447	5462
28.08.2007 16:08	1	p2B	5478	5495
28.08.2007 16:38	1	p16B	5427	5441
28.08.2007 17:07	1	p29B	5505	5523
28.08.2007 17:38	1	p33B	5430	5444
28.08.2007 18:09	1	p44B	5668	5698
28.08.2007 18:42	1	p27a	5568	5591
28.08.2007 19:41	1	p15a	5427	5440
28.08.2007 20:12	1	p39a	5603	5628
28.08.2007 20:43	1	p21a	5587	5611
28.08.2007 21:45	1	p3	5363	5373
28.08.2007 22:17	1	p36a	5368	5378
28.08.2007 23:00	1	p42B	5311	5317
28.08.2007 23:30	1	p25b	5572	5595
28.08.2007 23:59	1	p48a	5297	5302
29.08.2007 00:32	1	p47a	5370	5380
29.08.2007 01:03	1	p23a	5437	5451
29.08.2007 01:34	1	p9	5359	5368
29.08.2007 02:03	1	p33a	5227	5227
29.08.2007 02:38	1	p13	5360	5369
29.08.2007 03:16	1	p9b	5254	5256
29.08.2007 03:59	1	p1b	5340	5348

24 h Messung			Datum: 28.08. bis 29.08.2007		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
29.08.2007 04:18	1	p4b	5329	5336	
29.08.2007 04:40	1	p23b	5412	5368	
29.08.2007 05:15	1	p16b	5293	5298	
29.08.2007 05:38	1	p13b	5309	5315	
29.08.2007 06:15	1	p6	5322	5329	
29.08.2007 06:38	1	p44a	5260	5262	
29.08.2007 07:16	1	p2b	5311	5317	
29.08.2007 07:40	1	p15a	5245	5247	
29.08.2007 08:10	1	p35b	5241	5242	
29.08.2007 08:42	1	p41a	5264	5267	
29.08.2007 09:10	1	p38b	5306	5312	
29.08.2007 09:35	1	p11a	5342	5350	
28.08.2007 10:20	2	p23a	5581	5604	
28.08.2007 10:45	2	p7	5212	5212	
28.08.2007 11:12	2	p4	5289	5294	
28.08.2007 11:42	2	p52a	5269	5272	
28.08.2007 12:11	2	p42a	5258	5260	
28.08.2007 12:42	2	p25b	5364	5373	
28.08.2007 13:13	2	p22b	5385	5396	
28.08.2007 13:44	2	p4b	5217	5216	
28.08.2007 14:11	2	p16b	5405	5417	
28.08.2007 14:41	2	p9b	5295	5300	
28.08.2007 15:11	2	p18b	5345	5353	
28.08.2007 15:41	2	p23B	5306	5312	
28.08.2007 16:11	2	p14B	5314	5320	
28.08.2007 16:41	2	p15B	5364	5373	
28.08.2007 17:10	2	p32B	5351	5359	
28.08.2007 17:40	2	p34B	5314	5320	
28.08.2007 18:12	2	p41B	5265	5268	
28.08.2007 18:45	2	p29a	5348	5357	
28.08.2007 19:15	2	p20a	5466	5482	
28.08.2007 19:44	2	p24a	5431	5445	
28.08.2007 20:15	2	p46a	5434	5448	
28.08.2007 20:46	2	p41a	5422	5435	
28.08.2007 21:21	2	p50a	5348	5357	
28.08.2007 21:50	2	p4	5280	5284	
28.08.2007 22:18	2	p7	5256	5258	
28.08.2007 23:05	2	p50	5329	5336	
28.08.2007 23:32	2	p55a	5507	5525	
29.08.2007 00:02	2	p40B	5369	5379	

24 h Messung			Datum: 28.08. bis 29.08.2007		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
29.08.2007 00:37	2	p22a	5346	5355	
29.08.2007 01:06	2	p49a	5377	5387	
29.08.2007 01:40	2	p34a	5262	5265	
29.08.2007 02:10	2	p10B	5406	5419	
29.08.2007 02:39	2	p8b	5234	5235	
29.08.2007 03:13	2	p7b	5314	5320	
29.08.2007 03:43	2	p15b	5217	5216	
29.08.2007 04:15	2	p12b	5237	5238	
29.08.2007 04:42	2	p22b	5225	5225	
29.08.2007 05:12	2	p17b	5278	5282	
29.08.2007 05:40	2	p29a	5242	5243	
29.08.2007 06:12	2	p43a	5263	5266	
29.08.2007 06:41	2	p50a	5225	5225	
29.08.2007 07:14	2	p44b	5233	5234	
29.08.2007 07:44	2	p28a	5259	5262	
29.08.2007 08:12	2	p15b	5228	5229	
29.08.2007 08:45	2	p46a	5244	5246	
29.08.2007 09:14	2	p32b	5251	5253	
29.08.2007 09:38	2	p25b	5227	5228	
28.08.2007 10:05	3	p12a	5233	5234	
28.08.2007 10:30	3	p31a	5726	5759	
28.08.2007 10:50	3	p10	5219	5219	
28.08.2007 11:18	3	p34a	5492	5510	
28.08.2007 11:40	3	p47a	5268	5271	
28.08.2007 12:18	3	p50	5282	5286	
28.08.2007 12:48	3	p33a	5295	5300	
28.08.2007 13:21	3	p1b	5273	5277	
28.08.2007 13:50	3	p13b	5283	5287	
28.08.2007 14:19	3	p17b	5770	5806	
28.08.2007 14:48	3	P13b	5226	5227	
28.08.2007 15:18	3	p20b	5268	5271	
28.08.2007 15:48	3	p24B	5205	5204	
28.08.2007 16:08	3	p25B	5225	5225	
28.08.2007 16:48	3	p30B	5232	5233	
28.08.2007 17:17	3	p35B	5355	5364	
28.08.2007 17:48	3	p38B	5242	5243	
28.08.2007 18:15	3	p28a	5274	5277	
28.08.2007 18:45	3	p6	5340	5348	
28.08.2007 19:13	3	p43a	5333	5340	
28.08.2007 20:17	3	p11a	5267	5270	

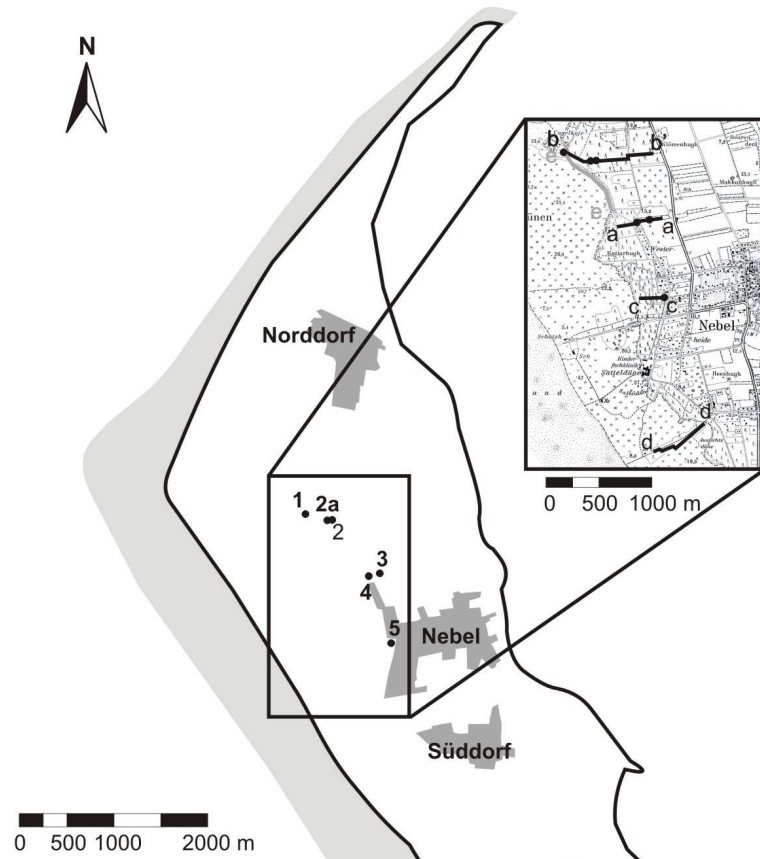
24 h Messung			Datum: 28.08. bis 29.08.2007		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
28.08.2007 20:45	3	p44a	5198	5197	
28.08.2007 21:18	3	p2neu	5460	5475	
28.08.2007 21:58	3	p30a	5231	5232	
28.08.2007 22:22	3	p42a	5219	5219	
28.08.2007 22:50	3	p27B	5262	5265	
28.08.2007 23:17	3	p31a	5264	5267	
28.08.2007 23:54	3	p52a	5270	5274	
29.08.2007 00:28	3	p19B	5260	5262	
29.08.2007 01:00	3	p35a	5391	5402	
29.08.2007 01:29	3	p37B	5320	5326	
29.08.2007 01:59	3	p39B	5307	5313	
29.08.2007 02:44	3	p11b	5238	5239	
29.08.2007 03:09	3	p18b	5196	5195	
29.08.2007 03:48	3	p20b	5214	5214	
29.08.2007 04:11	3	p3b	5229	5229	
29.08.2007 04:46	3	p24b	5223	5223	
29.08.2007 05:09	3	p38a	5219	5219	
29.08.2007 05:45	3	p39a	5232	5233	
29.08.2007 06:08	3	p24a	5221	5221	
29.08.2007 06:47	3	p27a	5241	5242	
29.08.2007 07:10	3	p20a	5242	5243	
29.08.2007 07:49	3	p14b	5247	5249	
29.08.2007 08:16	3	p21a	5227	5227	
29.08.2007 08:47	3	p8	5202	5201	
29.08.2007 09:15	3	PAA	5276	5280	
29.08.2007 09:42	3	p33b	5244	5246	

He [ppb]: Angezeigte Heliumkonzentration

He [ppb] kor.: Korrigierte Heliumkonzentration

A.3.2 Amrum

Lage der Profile zur Bodenluftmessung und der Standorte zur 24h Messung.



Heliumkonzentrationen der Bodenluft der Profile im UG Amrum

Profil: a-a'			Datum: 10.10.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
1	3457571	6058864	5174	5171	5208
2(neu)	3457550	6058867	5170	5166	
3	3457541	6058865	5211	5211	
4	3457536	6058873	5241	5242	
6	3457513	6058866	5240	5241	
7	3457515	6058867	5040	5028	
8	3457482	6058864	5215	5215	
9	3457482	6058867	5253	5255	
10	3457465	6058859	5243	5244	
11a	3457446	6058855	5219	5218	
12a	3457439	6058859	5245	5246	
13a	3457418	6058855	5186	5184	
14a	3457419	6058852	5177	5174	
15a	3457399	6058856	5154	5150	
20a	3457393	6058856	5335	5342	
21a	3457370	6058846	5325	5332	
22a	3457352	6058838	5278	5281	
23a	3457337	6058834	5222	5222	
24a	3457341	6058831	5195	5194	
25a	3457317	6058837	5208	5207	
26a	3457316	6058826	5152	5147	
27a	3457301	6058841	5180	5177	
30a	3457293	6058803	5217	5217	
31a	3457268	6058806	5217	5217	
32a	3457272	6058829	5316	5322	
33a	3457264	6058807	5202	5201	
34a	3457219	6058779	5254	5256	
53a	3457202	6058763	5232	5232	
36a	3457164	6058768	5324	5331	
38a	3457158	6058761	5294	5299	
39a	3457152	6058778	5195	5193	
40a	3457132	6058769	5241	5242	

Profil: b-b'			Datum: 11.10.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
3	3456664	6059489	5201	5200	5217
4	3456693	6059481	5250	5252	
5	3456712	6059463	5370	5380	
6	3456723	6059436	5287	5291	
7	3456739	6059436	5187	5185	
8	3456764	6059433	5257	5260	
9	3456784	6059407	5173	5170	
10	3456799	6059396	5288	5293	
13a	3456808	6059414	5165	5161	
14a	3456840	6059422	5232	5233	
15a	3456895	6059430	5168	5165	
20a	3456918	6059431	5217	5217	
21a	3456942	6059433	5594	5619	
22a	3456966	6059435	5240	5241	
23a	3456990	6059437	5326	5333	
26a	3457013	6059438	5190	5188	
27a	3457037	6059440	5129	5123	
28a	3457061	6059442	5275	5279	
29a	3457085	6059444	5297	5302	
30a	3457100	6059448	5205	5205	
31a	3457107	6059443	5221	5221	
32a	3457110	6059442	5171	5168	
33a	3457110	6059442	5778	5815	
35a	3457148	6059454	5266	5269	
36a	3457173	6059460	5252	5254	
38a	3457195	6059459	5262	5264	
39a	3457203	6059457	5206	5205	
40a	3457226	6059461	5210	5210	
41a	3457263	6059482	5245	5247	
42a	3457277	6059488	5214	5214	
43a	3457292	6059485	5281	5285	
46a	3457309	6059486	5275	5279	
47a	3457328	6059496	5274	5278	
48a	3457343	6059491	5278	5282	
49a	3457371	6059491	5227	5227	
50a	3457376	6059496	5303	5309	
51a	3457384	6059493	5137	5131	
52a	3457412	6059496	5129	5123	
53a	3457430	6059496	5150	5146	
54a	3457432	6059500	5166	5162	
55a	3457443	6059501	5170	5167	
21	3457454	6059506	5302	5307	
22	3457480	6059510	5410	5423	

Profil: c-c'			Datum: 20.10.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
2neu	3457313	6058118	5223	5224	5218
3	3457326	6058119	5221	5221	
4	3457339	6058120	5228	5228	
5	3457352	6058120	5229	5230	
6	3457365	6058121	5234	5235	
7	3457378	6058122	5242	5243	
8	3457391	6058123	5202	5201	
9	3457404	6058123	5229	5229	
10	3457417	6058124	5241	5242	
11a	3457430	6058125	5238	5239	
12a	3457443	6058126	5207	5207	
13a	3457456	6058126	5218	5218	
14a	3457470	6058127	5235	5236	
15a	3457483	6058128	5205	5204	
20a	3457496	6058129	5210	5210	
21a	3457509	6058130	5186	5184	
22a	3457522	6058130	5200	5199	
23a	3457535	6058131	5205	5204	
24a	3457548	6058132	5178	5175	
25a	3457561	6058133	5231	5231	
26a	3457574	6058133	5221	5221	

Profil: d-d'			Datum: 18.10.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
2neu	3457905	6056898	5253	5255	5239
3	3457906	6056896	5237	5238	
4	3457883	6056881	5261	5264	
5	3457875	6056876	5240	5241	
6	3457863	6056867	5260	5262	
7	3457847	6056888	5330	5337	
8	3457843	6056853	5206	5205	
9	3457830	6056824	5213	5212	
10	3457815	6056829	5240	5241	
11a	3457809	6056811	5265	5268	
12a	3457798	6056806	5238	5239	
13a	3457796	6056803	5237	5238	
14a	3457777	6056778	5239	5240	
15a	3457773	6056771	5238	5239	
20a	3457751	6056768	5270	5273	
21a	3457737	6056754	5190	5188	
22a	3457716	6056735	5249	5251	
23a	3457716	6056733	5242	5243	
24a	3457703	6056723	5240	5241	
25a	3457691	6056713	5247	5248	
26a	3457678	6056708	5222	5222	
27a	3457637	6056734	5224	5225	
28a	3457634	6056725	5252	5254	
29a	3457630	6056715	5247	5249	
30a	3457620	6056717	5239	5240	
31a	3457595	6056702	5240	5242	
32a	3457575	6056694	5236	5238	
33a	3457553	6056690	5234	5235	
34a	3457566	6056671	5248	5250	
35a	3457561	6056678	5232	5232	
36a	3457524	6056678	5234	5235	
39a	3457493	6056689	5233	5233	
40a	3457485	6056684	5215	5215	
38a	3457477	6056686	5244	5245	

Profil: e-e'			Datum: 15.10.2006		
Probe	Rechtswert	Hochwert	He [ppb]	He [ppb] kor.	He Hintergrund [ppb]
6	3456665	6059481	5210	5209	5227
7	3456670	6054467	5263	5266	
8	3456683	6059453	5418	5430	
9	3456689	6059440	5158	5153	
10	3456694	6059401	5197	5196	
11a	3456715	6059379	5226	5226	
12a	3456721	6059384	5270	5273	
13a	3456743	6059377	5168	5165	
14a	3456756	6059373	5187	5185	
15a	3456775	6059368	5229	5230	
20a	3456787	6059357	5192	5190	
21a	3456792	6059341	5200	5199	
22a	3456807	6059317	5240	5241	
23a	3456820	6059315	5206	5205	
24a	3456819	6059321	5234	5235	
25a	3456850	6059296	5254	5256	
26a	3456866	6059296	5227	5227	
27a	3456883	6059282	5268	5272	
28a	3456888	6059279	5255	5257	
29a	3456900	6059273	5225	5225	
31a	3456901	6059257	5252	5254	
30a	3456937	6059257	5224	5224	
32a	3456954	6059238	5215	5215	
33a	3456961	6059224	5231	5232	
34a	3456979	6059217	5252	5254	
35a	3456988	6059201	5234	5235	
36a	3457000	6059192	5208	5207	
38a	3457015	6059168	5214	5213	
39a	3457024	6059161	5250	5252	
40a	3457033	6059144	5246	5248	
41a	3457041	6059132	5249	5250	
42a	3457055	6059091	5236	5237	
44a	3457046	6059114	5243	5245	
43a	3457051	6059081	5220	5220	
45a	3457056	6059076	5188	5186	
46a	3457070	6059032	5213	5213	
47a	3457067	6059000	5262	5264	
48a	3457079	6058996	5241	5243	
49a	3457081	6058983	5238	5239	
50a	3457089	6058964	5236	5237	
51a	3457098	6058945	5230	5230	

He [ppb]: Angezeigte Heliumkonzentration

He [ppb] kor.: Korrigierte Heliumkonzentration

He Hintergrund [ppb]: Mittlere Hintergrundkonzentration des Heliums der unbeeinflussten Bodenluft

Daten der Langzeitmessungen im UG Amrum

		Standort 3	r^{34} 57419	h^{60} 58852	
		Standort 4	r^{34} 57317	h^{60} 58337	
24 h Messung		Datum: 12.10. bis 13.10.2006			
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
12.10.2006 06:20	3	1	5216	5216	
12.10.2006 07:20	3	3	5221	5222	
12.10.2006 08:25	3	6	5280	5284	
12.10.2006 09:20	3	9	5317	5323	
12.10.2006 10:32	3	12a	5269	5273	
12.10.2006 11:38	3	14a	5223	5223	
12.10.2006 12:32	3	21a	5284	5289	
12.10.2006 13:30	3	28a	5265	5268	
12.10.2006 14:40	3	31a	5179	5177	
12.10.2006 15:35	3	33a	5063	5053	
12.10.2006 16:28	3	35a	5150	5145	
12.10.2006 17:37	3	39a	5601	5625	
12.10.2006 18:44	3	43a	5218	5218	
12.10.2006 19:42	3	47a	5234	5234	
12.10.2006 20:45	3	49a	5188	5186	
12.10.2006 21:40	3	52a	5651	5651	
12.10.2006 23:40	3	4-1	5223	5223	
13.10.2006 00:44	3	7-1	5218	5218	
13.10.2006 01:42	3	10-1	5244	5246	
13.10.2006 02:41	3	13a-1	5315	5321	
13.10.2006 03:41	3	20a-1	5228	5228	
13.10.2006 04:45	3	23a-1	5256	5258	
13.10.2006 05:47	3	26a-1	5217	5217	
12.10.2006 06:25	4	2(neu)	5229	5229	
12.10.2006 07:23	4	4	5216	5216	
12.10.2006 08:28	4	7	5261	5263	
12.10.2006 09:23	4	10	5230	5231	

24 h Messung			Datum: 12.10. bis 13.10.2006	
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.
12.10.2006 10:35	4	13a	5218	5218
12.10.2006 11:42	4	15a	5258	5260
12.10.2006 12:35	4	22a	5201	5200
12.10.2006 13:33	4	29a	5255	5257
12.10.2006 14:44	4	32a	5272	5275
12.10.2006 15:37	4	34a	5250	5252
12.10.2006 16:30	4	36a	5271	5274
12.10.2006 17:40	4	40a	5138	5133
12.10.2006 18:51	4	44a	5535	5555
12.10.2006 19:44	4	48a	5205	5204
12.10.2006 20:58	4	50a	5222	5222
12.10.2006 22:43	4	2neu-1	5318	5325
12.10.2006 23:42	4	5-1	5331	5338
13.10.2006 00:46	4	8-1	5292	5296
13.10.2006 01:44	4	11a-1	5246	5247
13.10.2006 02:44	4	14a-1	5311	5317
13.10.2006 03:43	4	21a-1	5157	5153
13.10.2006 04:47	4	24a-1	5279	5283
13.10.2006 05:50	4	27a-1	5255	5257

Standort 1	r^{34} 56662	h^{60} 59445
Standort 2	r^{34} 56926	h^{60} 59400
Standort 2a	r^{34} 56926	h^{60} 59993

10 h Messung			Datum: 16.10.2006	
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.
16.10.2006 08:38	1	2neu	5238	5239
16.10.2006 09:02	1	6	5215	5214
16.10.2006 09:25	1	10	5321	5328
16.10.2006 09:44	1	13a	5214	5214
16.10.2006 10:01	1	20a	5219	5219
16.10.2006 10:35	1	24a	5226	5227
16.10.2006 11:10	1	27a	5227	5227
16.10.2006 12:12	1	31a	5240	5241
16.10.2006 13:19	1	35a	5253	5255
16.10.2006 14:41	1	39a	5222	5222
16.10.2006 15:16	1	42a	5227	5227
16.10.2006 15:45	1	45a	5292	5296
16.10.2006 16:05	1	48a	5256	5258

10 h Messung				Datum: 16.10.2006	
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb]	kor.
16.10.2006 16:30	1	51a	5356	5365	
16.10.2006 16:52	1	54a	5298	5303	
16.10.2006 18:31	1	47a	5194	5192	
16.10.2006 08:40	2	3	5206	5205	
16.10.2006 09:04	2	7	5312	5317	
16.10.2006 09:28	2	11a	5195	5194	
16.10.2006 09:47	2	14a	5229	5229	
16.10.2006 10:03	2	21a	5215	5214	
16.10.2006 10:36	2	25a	5250	5252	
16.10.2006 11:12	2	28a	5235	5236	
16.10.2006 12:16	2	32a	5264	5267	
16.10.2006 13:24	2	36a	5301	5307	
16.10.2006 14:43	2	40a	5189	5187	
16.10.2006 15:17	2	44a	5177	5174	
16.10.2006 15:50	2	46a	5221	5221	
16.10.2006 16:07	2	49a	5197	5196	
16.10.2006 16:32	2	52a	5250	5252	
16.10.2006 16:54	2	55a	5313	5319	
16.10.2006 18:32	2	48a	5221	5221	
16.10.2006 08:44	2a	4	5195	5194	
16.10.2006 09:04	2a	9	5392	5403	
16.10.2006 09:24	2a	12a	5230	5230	
16.10.2006 09:45	2a	15a	5201	5200	
16.10.2006 10:03	2a	22a	5042	5030	
16.10.2006 10:40	2a	26a	5219	5219	
16.10.2006 11:08	2a	29a	5250	5252	
16.10.2006 12:19	2a	33a	5278	5282	
16.10.2006 13:29	2a	38a	5293	5298	
16.10.2006 14:47	2a	41a	5234	5235	
16.10.2006 15:20	2a	43a	5215	5214	
16.10.2006 15:52	2a	47a	5274	5277	
16.10.2006 16:12	2a	50a	5175	5172	
16.10.2006 16:35	2a	53a	5288	5292	
16.10.2006 16:58	2a	1b	5262	5265	
16.10.2006 18:35	2a	5b	5238	5239	

	Standort 1	$r^{34}56662$	$h^{60}59445$		
	Standort 2	$r^{34}56926$	$h^{60}59393$		
	Standort 3	$r^{34}57419$	$h^{60}58852$		
	Standort 4	$r^{34}57317$	$h^{60}58337$		
	Standort 5	$r^{34}57618$	$h^{60}58109$		
24 h Messung			Datum: 22.10. bis 23.10.2006		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
22.10.06 7:45	1	2neu	5235	5236	
22.10.06 8:12	1	7	5218	5218	
22.10.06 8:41	1	11a	5232	5232	
22.10.06 9:16	1	20a	5221	5221	
22.10.06 10:05	1	26a	5882	5925	
22.10.06 11:04	1	31a	5148	5144	
22.10.06 12:05	1	36a	5243	5245	
22.10.06 13:07	1	43a	5272	5276	
22.10.06 13:54	1	48a	5220	5220	
22.10.06 14:21	1	53a	5226	5226	
22.10.06 14:48	1	3b	5241	5242	
22.10.06 15:55	1	2neu	5195	5193	
22.10.06 16:48	1	1b	5184	5181	
22.10.06 17:46	1	6b	5197	5195	
22.10.06 18:45	1	11b	5214	5214	
22.10.06 19:45	1	16b	5225	5226	
22.10.06 20:25	1	18b	5154	5150	
22.10.06 21:03	1	26b	5140	5135	
22.10.06 21:41	1	32b	5154	5150	
22.10.06 22:33	1	37b	5174	5171	
22.10.06 23:14	1	42b	5121	5115	
23.10.06 0:20	1	1b	5144	5139	
23.10.06 1:31	1	6b	5201	5199	
23.10.06 2:05	1	12b	5225	5225	
23.10.06 2:43	1	17b	5268	5271	
23.10.06 3:12	1	23b	5342	5350	
23.10.06 4:04	1	28b	5146	5142	
23.10.06 5:06	1	33b	5132	5126	
22.10.06 7:48	2	3	5225,41435	5225,76628	
22.10.06 8:15	2	8	5175	5172	
22.10.06 8:45	2	12a	5195	5194	
22.10.06 9:20	2	21a	5183	5181	
22.10.06 10:10	2	27a	5209	5209	
22.10.06 11:10	2	32a	5243	5245	

24 h Messung			Datum: 22.10. bis 23.10.2006		
Zeit	Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.
22.10.06 12:11		2	38a	5145	5140
22.10.06 13:12		2	44a	5262	5267
22.10.06 14:00		2	49a	5211	5210
22.10.06 14:26		2	54a	5204	5203
22.10.06 14:52		2	5b	5379	5390
22.10.06 15:59		2	3	5151	5147
22.10.06 16:53		2	2b	5180	5178
22.10.06 17:53		2	7b	5199	5198
22.10.06 18:50		2	12b	5152	5147
22.10.06 19:50		2	17b	5197	5196
22.10.06 20:30		2	22b	5148	5143
22.10.06 21:08		2	27b	5128	5122
22.10.06 21:44		2	33b	5122	5115
22.10.06 22:36		2	38b	5170	5167
22.10.06 23:18		2	43b	5101	5093
23.10.06 0:25		2	2b	5154	5150
23.10.06 1:36		2	7b	5126	5120
23.10.06 2:09		2	13b	5306	5311
23.10.06 2:45		2	18b	5253	5256
23.10.06 3:15		2	24b	5283	5288
23.10.06 4:06		2	29b	5156	5152
23.10.06 5:09		2	34b	5143	5138
22.10.06 7:45		3	4	5218	5218
22.10.06 8:16		3	9	5199	5197
22.10.06 8:54		3	13a	5212	5211
22.10.06 9:29		3	22a	5218	5218
22.10.06 10:17		3	28a	5236	5237
22.10.06 11:17		3	33a	5224	5225
22.10.06 12:17		3	39a	5206	5205
22.10.06 13:20		3	45a	5212	5211
22.10.06 14:05		3	50a	5190	5188
22.10.06 14:33		3	55a	5254	5257
22.10.06 15:01		3	7b	5210	5209
22.10.06 16:06		3	4	5218	5218
22.10.06 17:00		3	3b	5230	5231
22.10.06 18:00		3	8b	5228	5229
22.10.06 18:58		3	13b	5177	5174
22.10.06 19:57		3	21b	5256	52595
22.10.06 20:37		3	23b	5232	5233
22.10.06 21:14		3	28b	5178	5175

24 h Messung			Datum: 22.10. bis 23.10.2006		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
22.10.06 21:53	3	34b	5183	5181	
22.10.06 22:43	3	39b	5206	5205	
22.10.06 23:32	3	45b	5195	5193	
23.10.06 0:30	3	3b	5369	5379	
23.10.06 1:44	3	8b	5176	5173	
23.10.06 2:14	3	14b	5179	5176	
23.10.06 2:50	3	19b	5259	5261	
23.10.06 3:17	3	25b	4979	4964	
23.10.06 4:13	3	30b	5220	5220	
23.10.06 5:14	3	35b	5202	5200	
22.10.06 7:59	4	5	5230	5231	
22.10.06 8:21	4	10	5205	5201	
22.10.06 8:50	4	14a	5185	5183	
22.10.06 9:31	4	23a	5238	5240	
22.10.06 10:20	4	29a	5239	5240	
22.10.06 11:20	4	34a	5208	5207	
22.10.06 12:21	4	40a	5202	5200	
22.10.06 13:25	4	46a	5243	5245	
22.10.06 14:08	4	51a	5153	5149	
22.10.06 14:33	4	1b	5233	5234	
22.10.06 15:04	4	10b	5221	5221	
22.10.06 16:09	4	5	5146	5141	
22.10.06 17:04	4	4b	5173	5170	
22.10.06 18:03	4	9b	5183	5180	
22.10.06 19:01	4	14b	5236	5236	
22.10.06 20:01	4	19b	5233	5234	
22.10.06 20:40	4	24b	5190	5188	
22.10.06 21:20	4	30b	5093	5084	
22.10.06 21:58	4	35b	5193	5192	
22.10.06 22:47	4	40b	5142	5137	
23.10.06 0:33	4	4b	5246	5248	
23.10.06 1:47	4	10b	5230	5230	
23.10.06 2:17	4	15b	5295	5300	
23.10.06 2:52	4	20b	5172	5170	
23.10.06 3:23	4	26b	5323	5330	
23.10.06 4:14	4	31b	5170	5168	
23.10.06 5:17	4	36b	5106	5099	
22.10.06 7:56	5	6	5196	5195	
22.10.06 9:02	5	15a	5241	5243	
22.10.06 9:38	5	24a	5211	5210	

24 h Messung			Datum: 22.10. bis 23.10.2006		
Zeit Probenahme	Standort	Probe	He [ppb]	He [ppb] kor.	
22.10.06 10:28	5	30a	5239	52406	
22.10.06 11:27	5	35a	5203	5202	
22.10.06 12:28	5	42a	5169	5166	
22.10.06 13:30	5	47a	5214	5213	
22.10.06 14:14	5	52a	5181	5178	
22.10.06 14:41	5	2b	5212	5211	
22.10.06 15:11	5	11b	5293	5298	
22.10.06 16:14	5	6	5186	5184	
22.10.06 17:10	5	5b	5172	5169	
22.10.06 18:09	5	10b	5159	5155	
22.10.06 19:08	5	15b	5180	5175	
22.10.06 20:08	5	20b	5196	5195	
22.10.06 20:49	5	25b	5210	5210	
22.10.06 21:28	5	31b	5007	4993	
22.10.06 22:04	5	36b	5112	5105	
22.10.06 22:52	5	41b	5176	5173	
23.10.06 0:40	5	5b	5130	5124	
23.10.06 1:51	5	11b	5165	5162	
23.10.06 2:22	5	16b	5088	5080	
23.10.06 2:55	5	22b	5211	5210	
23.10.06 3:26	5	27b	5185	5183	
23.10.06 4:17	5	32b	5160	5156	
23.10.06 5:21	5	37b	5158	5154	

He [ppb]: Angezeigte Heliumkonzentration

He [ppb] kor.: Korrigierte Heliumkonzentration

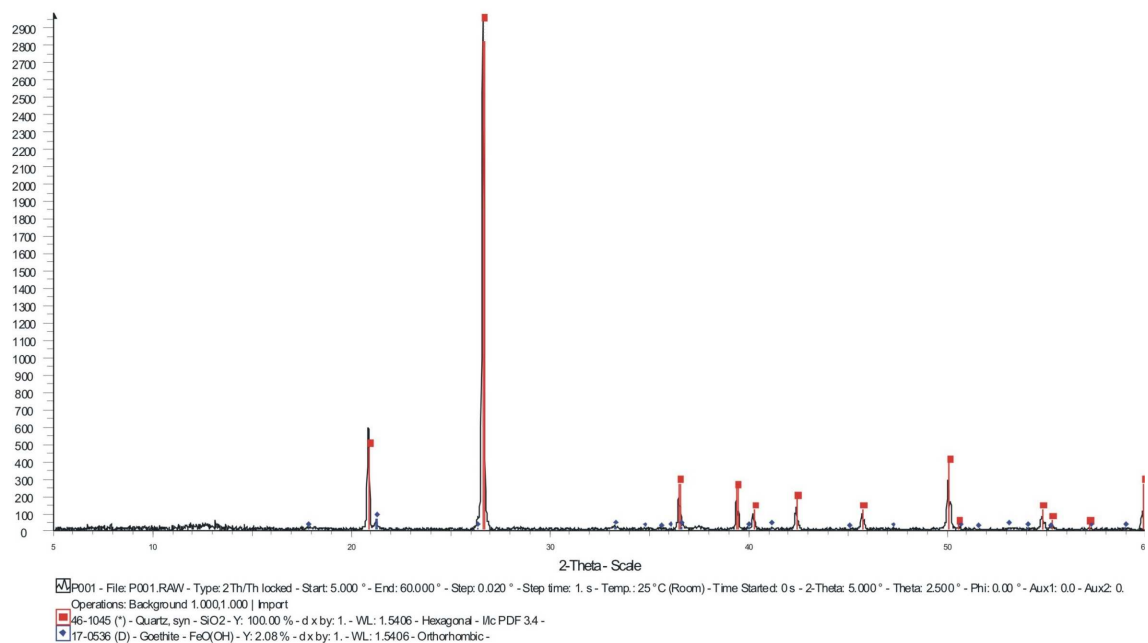
A.4 Ergebnisse der RFA und RDA Analysen

A.4.1 Raum Koblenz

Probe 101	Aufschluss: Bo15	
Tonstein mit Fe-	Rechtswert	Hochwert
Mieralisationen	3403916	5567552



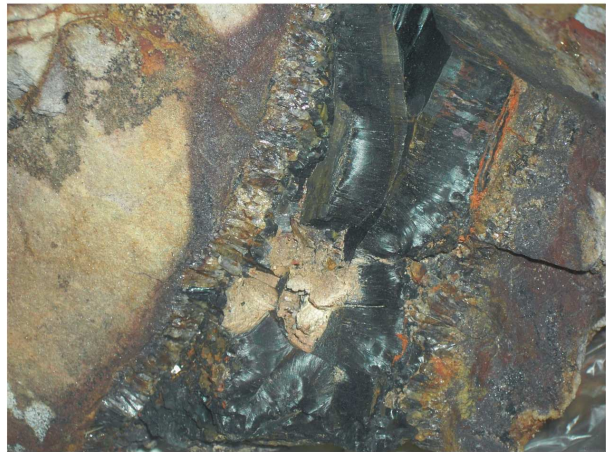
Handstück etwa 30 cm lang.



Probe: 136
Quarz mit Fe-
mineralen

Bo117
Rechtswert
3394179

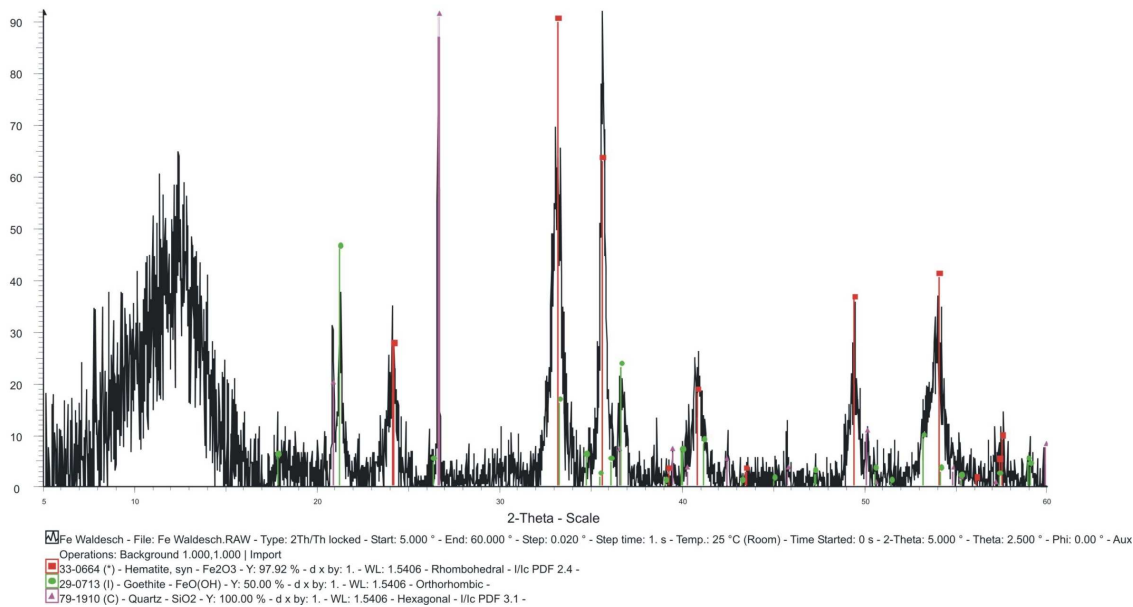
Hochwert
5568166



Die Länge des Bildausnschnittes entspricht etwa 10 cm.

Element	Konzentration
Na2O	< 0,092 %
MgO	0,069 %
Al2O3	< 0,019 %
SiO2	2,227 %
P2O5	0,0445 %
S	< 0,0030 %
Cl	< 0,00001 %
K2O	0,1629 %
CaO	< 0,014 %
TiO2	0,01064 %
MnO	1,963 %
Fe2O3	98,19 %

Element	Konzentration
V	31,3 µg/g
Cr	501,7 µg/g
Co	< 45 µg/g
Ni	111 µg/g
Cu	598 µg/g
Zn	202,9 µg/g
Ga	< 3,3 µg/g
Ge	< 4,0 µg/g
As	152,1 µg/g
Se	< 0,8 µg/g
Br	< 3,6 µg/g
Rb	< 4,5 µg/g
Sr	15,2 µg/g
Y	23,8 µg/g
Zr	5,5 µg/g
Nb	< 2,2 µg/g
Mo	< 1,5 µg/g
Ag	< 1,6 µg/g
Cd	2,1 µg/g
In	< 0,3 µg/g
Sn	0,7 µg/g
Sb	< 0,8 µg/g
Te	< 2,5 µg/g
I	3,2 µg/g
Cs	< 2,7 µg/g
Ba	768,9 µg/g
La	< 4,7 µg/g
Ce	10,4 µg/g
Pr	< 12 µg/g
Nd	44,2 µg/g
Sm	94,2 µg/g
Yb	< 25 µg/g
Hf	< 0,1 µg/g
Ta	< 59 µg/g
W	108 µg/g
Hg	< 6,9 µg/g
Tl	< 3,2 µg/g
Pb	< 15 µg/g
Bi	< 5,0 µg/g
Th	< 19 µg/g
U	9,9 µg/g



Probe: 381
Konglomerat

Aufschluss: Bo215
Rechtswert
3397022

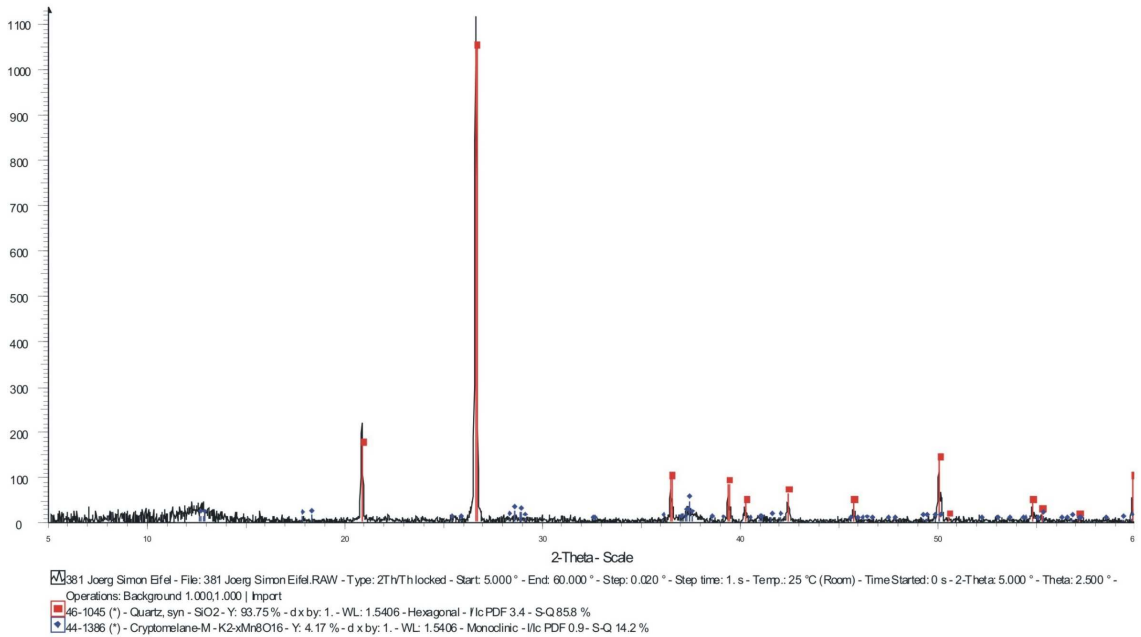
Hochwert
5570266



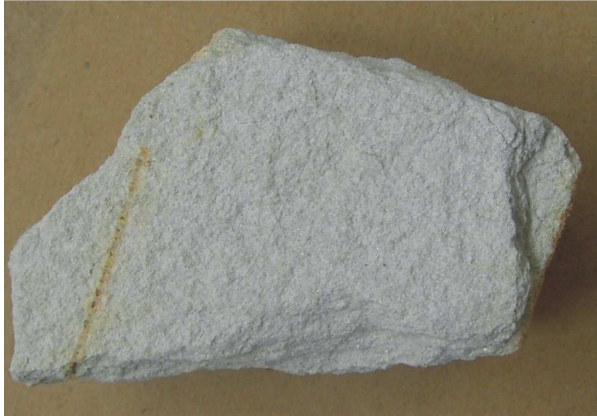
Das Handstück ist etwa 25 cm lang.

Element	Konzentration
V	< 51 µg/g
Cr	83 µg/g
Co	4227 µg/g
Ni	228 µg/g
Cu	63,1 µg/g
Zn	689,2 µg/g
Ga	< 1,1 µg/g
Ge	< 4,3 µg/g
As	6,6 µg/g
Se	< 0,5 µg/g
Br	< 2,1 µg/g
Rb	20,4 µg/g
Sr	44,9 µg/g
Y	157,2 µg/g
Zr	205,4 µg/g
Nb	6 µg/g
Mo	< 1,5 µg/g
Ag	< 2,0 µg/g
Cd	39,6 µg/g
In	12,8 µg/g
Sn	40,5 µg/g
Sb	12,7 µg/g
Te	269,2 µg/g
I	< 0,2 µg/g
Cs	801,5 µg/g
Ba	58570 µg/g
La	12,5 µg/g
Ce	372,3 µg/g
Pr	711 µg/g
Nd	< 200 µg/g
Sm	102,5 µg/g
Yb	41,4 µg/g
Hf	< 0,1 µg/g
Ta	< 12 µg/g
W	1292 µg/g
Hg	< 7,4 µg/g
Tl	19,4 µg/g
Pb	8,7 µg/g
Bi	5,8 µg/g
Th	3,3 µg/g
U	5,9 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,184 %
MgO	< 0,049 %
Al2O3	2,345 %
SiO2	58,73 %
P2O5	0,0819 %
S	0,01673 %
Cl	< 0,00001 %
K2O	0,3648 %
CaO	0,0605 %
TiO2	0,521 %
MnO	32,7 %
Fe2O3	0,9841 %



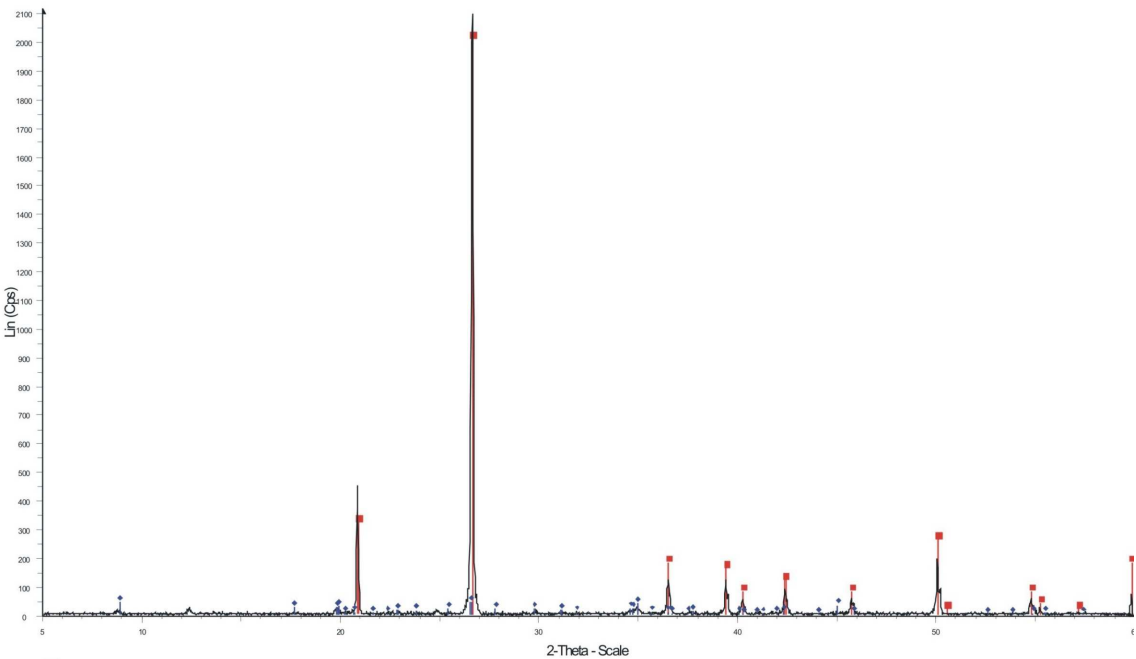
Probe: 445 Aufschluss: Bo280
Quarzit. Sandstein Rechtswert Hochwert
3397319 5572381



Das Handstück ist etwa 10 cm Breit

Element	Konzentration
Na2O	0,114 %
MgO	0,391 %
Al2O3	12,88 %
SiO2	79,33 %
P2O5	0,0234 %
S	0,0212 %
Cl	< 0,00001 %
K2O	2,078 %
CaO	0,0313 %
TiO2	0,4919 %
MnO	0,00166 %
Fe2O3	0,3561 %

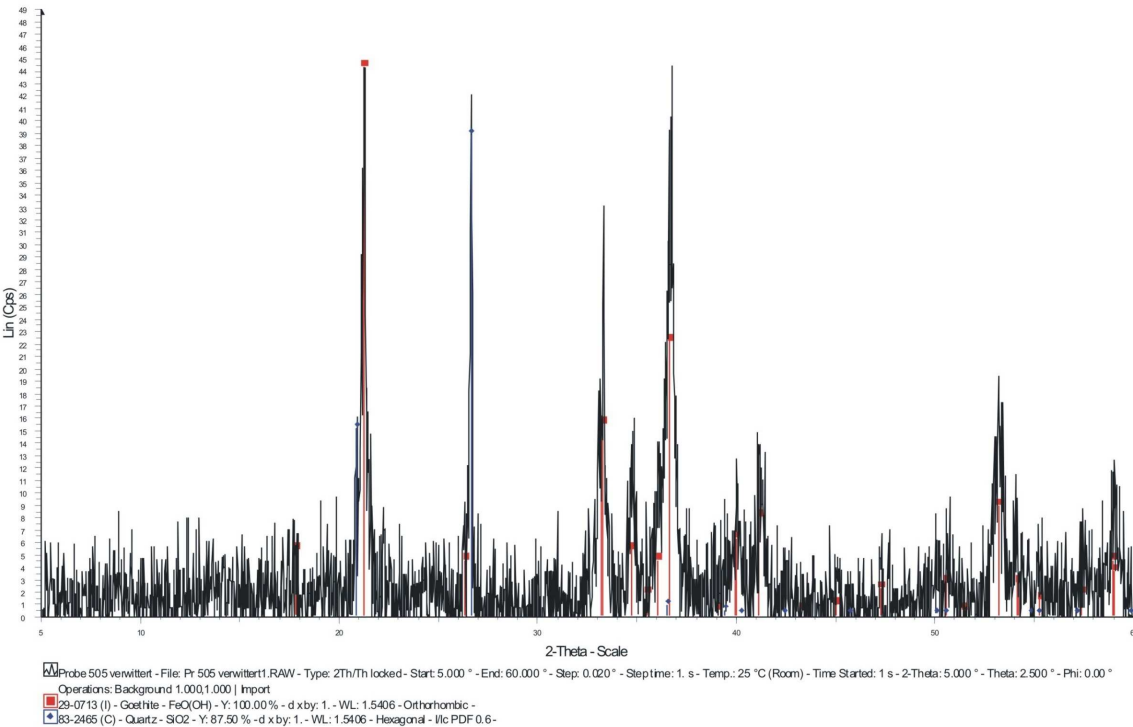
Element	Konzentration
V	47,4 µg/g
Cr	201,4 µg/g
Co	65,1 µg/g
Ni	13,7 µg/g
Cu	3,2 µg/g
Zn	20,7 µg/g
Ga	10,3 µg/g
Ge	0,7 µg/g
As	2,1 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	< 0,6 µg/g
Rb	62,8 µg/g
Sr	43,5 µg/g
Y	26,1 µg/g
Zr	334 µg/g
Nb	9,5 µg/g
Mo	< 0,6 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	2,1 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	4,1 µg/g
Sb	6,1 µg/g
Te	22,8 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	22,6 µg/g
Ba	323,3 µg/g
La	53,4 µg/g
Ce	111,4 µg/g
Pr	77,6 µg/g
Nd	14,1 µg/g
Sm	< 2,7 µg/g
Yb	2,2 µg/g
Hf	9,7 µg/g
Ta	< 2,7 µg/g
W	407,7 µg/g
Hg	< 2,1 µg/g
Tl	2,1 µg/g
Pb	201,1 µg/g
Bi	< 0,9 µg/g
Th	12,5 µg/g
U	4,3 µg/g



Probe 445 - File Probe 445aRAW - Type: 2ThTh locked - Start: 5.000 ° - End: 60.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 5.000 ° - Theta: 2.500 ° - Phi: 0.00 ° - Aux1: 0.0 - Au
Operations: Background 1.000.1.000 | Import
46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 95.83 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - Ilc PDF 3.4 -
07-0032 (D) - Muscovite 2M1, syn - KAl2(SBAIO1(OH)2 - Y: 2.08 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monodinic -

Probe: 505	Aufschluss: Bo331				
Eisenerz verwittert	Rechtswert	Hochwert	Element	Konzentration	
	3397664	5572647	V	30,5 µg/g	
			Cr	91,4 µg/g	
			Co	< 35 µg/g	
			Ni	270 µg/g	
			Cu	88,5 µg/g	
			Zn	104 µg/g	
			Ga	< 2,7 µg/g	
			Ge	< 3,0 µg/g	
			As	233 µg/g	
			Se	< 0,6 µg/g	
			Br	< 2,8 µg/g	
			Rb	22,9 µg/g	
			Sr	45,7 µg/g	
			Y	24,4 µg/g	
			Zr	54,6 µg/g	
			Nb	2,1 µg/g	
			Mo	< 1,2 µg/g	
			Ag	< 1,1 µg/g	
			Cd	1,1 µg/g	
			In	< 0,2 µg/g	
			Sn	2,7 µg/g	
			Sb	4,5 µg/g	
			Te	< 2,2 µg/g	
			I	< 1,5 µg/g	
			Cs	< 2,3 µg/g	
			Ba	123,9 µg/g	
			La	34,9 µg/g	
			Ce	87 µg/g	
			Pr	< 10 µg/g	
			Nd	65,7 µg/g	
			Sm	68,2 µg/g	
			Yb	< 23 µg/g	
			Hf	< 0,1 µg/g	
			Ta	< 22 µg/g	
			W	105 µg/g	
			Hg	< 5,4 µg/g	
			Tl	3,1 µg/g	
			Pb	219,6 µg/g	
			Bi	< 4,5 µg/g	
			Th	< 13 µg/g	
			U	10,9 µg/g	

Element	Konzentration
Na2O	< 0,094 %
MgO	0,118 %
Al2O3	< 0,019 %
SiO2	8,185 %
P2O5	0,9616 %
S	< 0,0030 %
Cl	0,00126 %
K2O	0,5347 %
CaO	0,02733 %
TiO2	0,1173 %
MnO	0,03091 %
Fe2O3	70,55 %



Probe: 505
Eisenerz frisch

Aufschluss: Bo331
Rechtswert
3397664

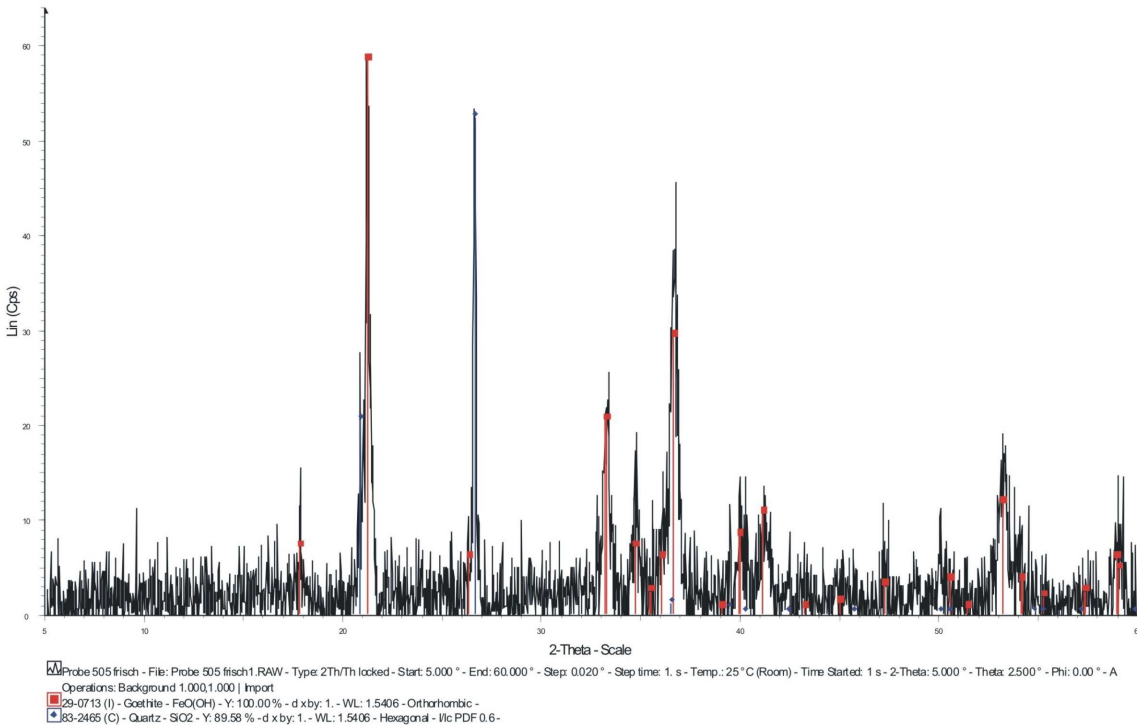
Hochwert
5572647



Das Handstück ist etwa 15 cm lang.

Element	Konzentration
Na2O	< 0,093 %
MgO	0,085 %
Al2O3	< 0,019 %
SiO2	8,829 %
P2O5	0,9673 %
S	< 0,0030 %
Cl	< 0,00001 %
K2O	0,5437 %
CaO	0,02711 %
TiO2	0,1152 %
MnO	0,03245 %
Fe2O3	69,8 %

Element	Konzentration
V	29,7 µg/g
Cr	166,5 µg/g
Co	< 33 µg/g
Ni	235,1 µg/g
Cu	86,3 µg/g
Zn	100,3 µg/g
Ga	< 2,6 µg/g
Ge	< 2,8 µg/g
As	265,1 µg/g
Se	< 0,6 µg/g
Br	< 2,9 µg/g
Rb	22,6 µg/g
Sr	34,4 µg/g
Y	22,7 µg/g
Zr	59 µg/g
Nb	< 1,7 µg/g
Mo	< 1,2 µg/g
Ag	< 1,2 µg/g
Cd	5,5 µg/g
In	< 0,2 µg/g
Sn	< 0,5 µg/g
Sb	5,2 µg/g
Te	< 2,2 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	< 2,3 µg/g
Ba	108,5 µg/g
La	23,7 µg/g
Ce	42,7 µg/g
Pr	< 10 µg/g
Nd	69,6 µg/g
Sm	57,8 µg/g
Yb	< 22 µg/g
Hf	< 0,1 µg/g
Ta	< 22 µg/g
W	117 µg/g
Hg	< 4,8 µg/g
Tl	< 2,4 µg/g
Pb	160 µg/g
Bi	< 4,3 µg/g
Th	15,1 µg/g
U	15,4 µg/g



Probe: 509
Quarzit, frisch

Aufschluss: Bo335
Rechtswert
3398329

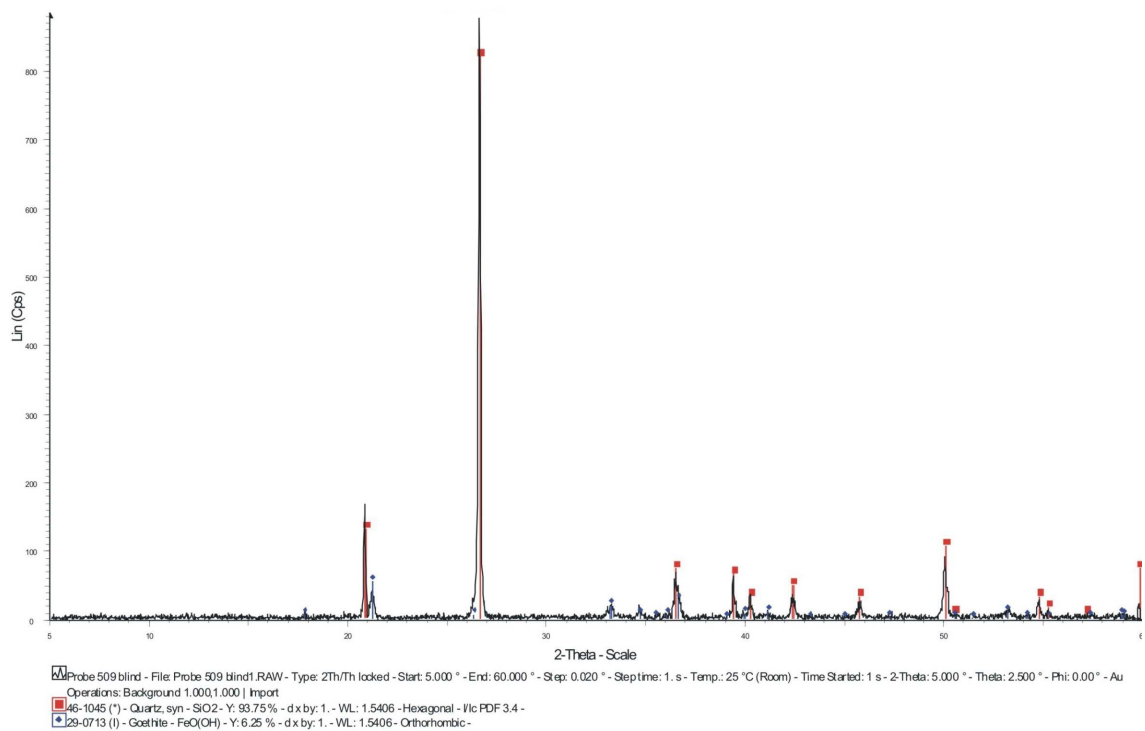
Hochwert
5572959



Das Handstück ist 5 cm breit.

Element	Konzentration
Na2O	< 0,10 %
MgO	< 0,044 %
Al2O3	1,045 %
SiO2	67,78 %
P2O5	0,2604 %
S	0,01171 %
Cl	0,001 %
K2O	0,5519 %
CaO	0,01736 %
TiO2	0,1572 %
MnO	0,00172 %
Fe2O3	16,23 %

Element	Konzentration
V	20,7 µg/g
Cr	59,5 µg/g
Co	52 µg/g
Ni	93 µg/g
Cu	158,1 µg/g
Zn	346,6 µg/g
Ga	1,7 µg/g
Ge	2,6 µg/g
As	507,4 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	2,3 µg/g
Rb	21,8 µg/g
Sr	21,8 µg/g
Y	12,8 µg/g
Zr	96,4 µg/g
Nb	3,8 µg/g
Mo	< 0,5 µg/g
Ag	2,2 µg/g
Cd	2,6 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	4,1 µg/g
Sb	39,8 µg/g
Te	< 1,5 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	< 1,7 µg/g
Ba	70,1 µg/g
La	16,2 µg/g
Ce	39,6 µg/g
Pr	< 8,1 µg/g
Nd	25,7 µg/g
Sm	2,9 µg/g
Yb	13,9 µg/g
Hf	< 0,1 µg/g
Ta	< 11 µg/g
W	768,6 µg/g
Hg	< 4,2 µg/g
Tl	7,4 µg/g
Pb	650,3 µg/g
Bi	< 2,1 µg/g
Th	19,3 µg/g
U	< 1,3 µg/g



Probe: 509
Belag

Aufschluss: Bo335
Rechtswert
3398329

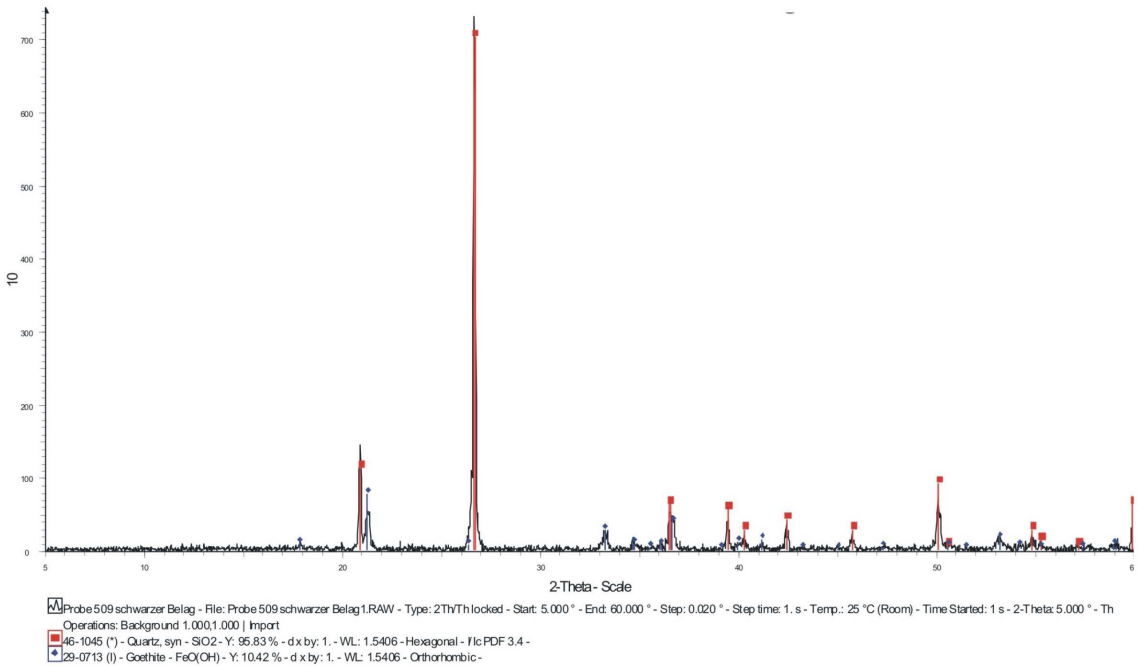
Hochwert
5572959



Das Handstück ist 15 cm lang.

Element	Konzentration
Na2O	< 0,0996 %
MgO	0,0487 %
Al2O3	< 0,0099 %
SiO2	52,33 %
P2O5	0,3789 %
S	0,00721 %
Cl	0,00229 %
K2O	0,4313 %
CaO	0,02218 %
TiO2	0,1796 %
MnO	0,00149 %
Fe2O3	22,34 %

Element	Konzentration
V	21,9 µg/g
Cr	108,5 µg/g
Co	55,2 µg/g
Ni	133,6 µg/g
Cu	457,8 µg/g
Zn	510,5 µg/g
Ga	< 1,8 µg/g
Ge	4,1 µg/g
As	635,7 µg/g
Se	< 0,4 µg/g
Br	2,8 µg/g
Rb	19,2 µg/g
Sr	30 µg/g
Y	13,3 µg/g
Zr	132,2 µg/g
Nb	3,8 µg/g
Mo	< 0,7 µg/g
Ag	2 µg/g
Cd	3,2 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	3,5 µg/g
Sb	56,3 µg/g
Te	< 1,5 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	< 1,7 µg/g
Ba	74,9 µg/g
La	17,5 µg/g
Ce	36,9 µg/g
Pr	< 7,9 µg/g
Nd	30,7 µg/g
Sm	12,6 µg/g
Yb	21,2 µg/g
Hf	< 0,1 µg/g
Ta	< 20 µg/g
W	1207 µg/g
Hg	< 5,8 µg/g
Tl	10,6 µg/g
Pb	894,3 µg/g
Bi	< 2,6 µg/g
Th	10,3 µg/g
U	1,3 µg/g



Probe: 546
Quarzit mit Fe
mineralisation

Aufschluss: Bo374
Rechtswert
3398682

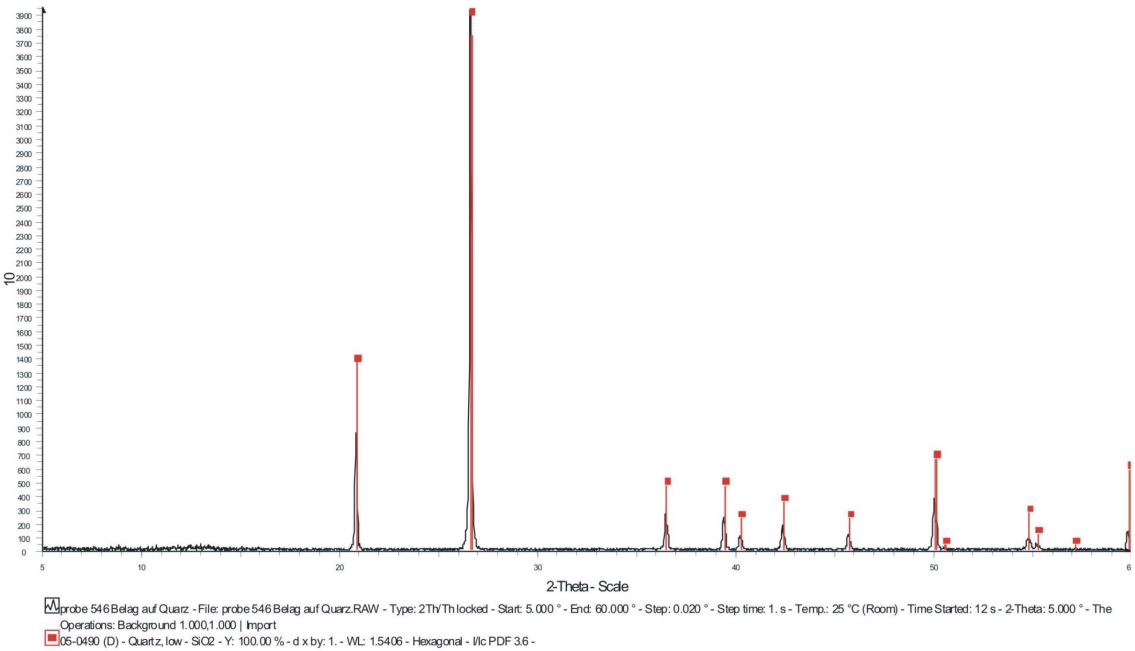
Hochwert
5572750



Das Handstück ist 15 cm lang.

Element	Konzentration
Na2O	< 0,10 %
MgO	0,072 %
Al2O3	1,987 %
SiO2	98,39 %
P2O5	< 0,0035 %
S	0,01268 %
Cl	< 0,00001 %
K2O	0,256 %
CaO	< 0,014 %
TiO2	0,1383 %
MnO	0,00204 %
Fe2O3	1,893 %

Element	Konzentration
V	13,5 µg/g
Cr	103 µg/g
Co	195,3 µg/g
Ni	2,3 µg/g
Cu	4,4 µg/g
Zn	4,8 µg/g
Ga	< 0,5 µg/g
Ge	5,4 µg/g
As	16,8 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	1,2 µg/g
Rb	8,2 µg/g
Sr	14,5 µg/g
Y	4,7 µg/g
Zr	97 µg/g
Nb	2,6 µg/g
Mo	< 0,4 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	0,8 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2 µg/g
Sb	5,6 µg/g
Te	5,2 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	< 1,5 µg/g
Ba	27,6 µg/g
La	8,9 µg/g
Ce	21,4 µg/g
Pr	20,2 µg/g
Nd	< 3,6 µg/g
Sm	< 2,1 µg/g
Yb	4,6 µg/g
Hf	4,5 µg/g
Ta	< 3,1 µg/g
W	1146 µg/g
Hg	< 3,4 µg/g
Tl	4 µg/g
Pb	33 µg/g
Bi	< 0,9 µg/g
Th	1 µg/g
U	< 0,8 µg/g



A.4.2 Amrum

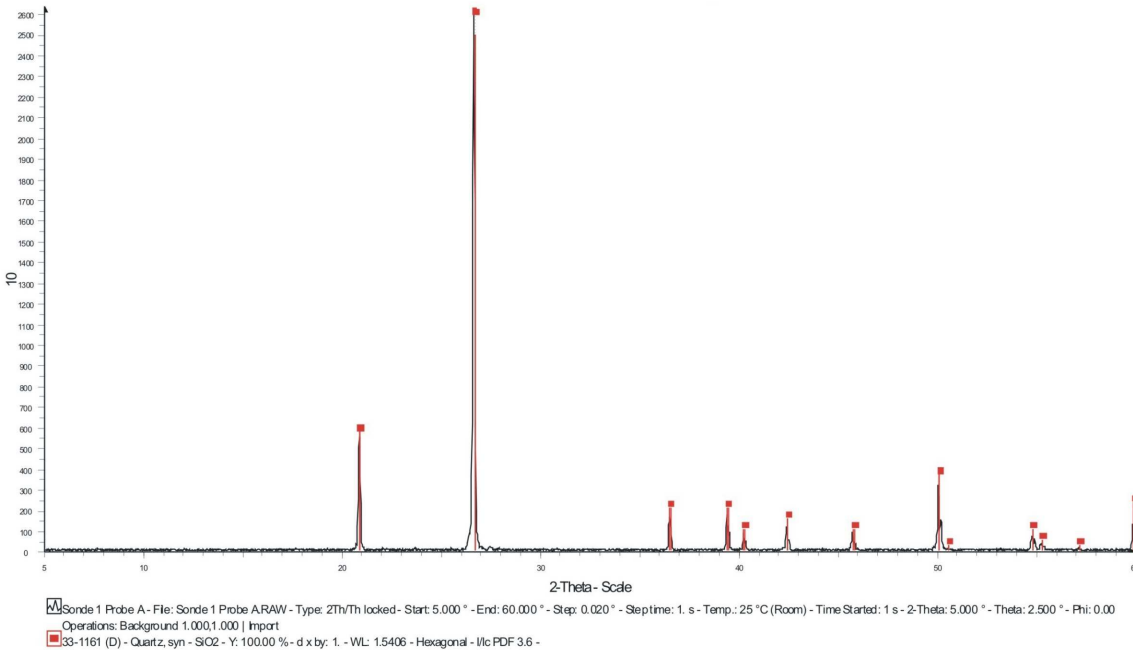
Probe: A
Standort 1

Tiefe: 0-1 m
Rechtswert
3456662

Hochwert
6059445

Element	Konzentration
V	10,5 µg/g
Cr	48,9 µg/g
Co	225 µg/g
Ni	1,6 µg/g
Cu	4,5 µg/g
Zn	14,2 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	< 2,1 µg/g
As	2,2 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	20,8 µg/g
Rb	18,3 µg/g
Sr	20,8 µg/g
Y	2,8 µg/g
Zr	315,5 µg/g
Nb	4,2 µg/g
Mo	< 0,6 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	0,7 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2,9 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	22,6 µg/g
Ba	159 µg/g
La	46,5 µg/g
Ce	42 µg/g
Pr	69 µg/g
Nd	< 3,6 µg/g
Sm	< 2,0 µg/g
Yb	2,4 µg/g
Hf	9,4 µg/g
Ta	< 3,3 µg/g
W	1316 µg/g
Hg	< 3,6 µg/g
Tl	4,3 µg/g
Pb	2,8 µg/g
Bi	2,6 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	2,6 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,312 %
MgO	< 0,045 %
Al2O3	1,937 %
SiO2	96 %
P2O5	< 0,0036 %
S	0,02981 %
Cl	0,0163 %
K2O	0,6897 %
CaO	0,1134 %
TiO2	0,2244 %
MnO	0,01116 %
Fe2O3	0,8619 %



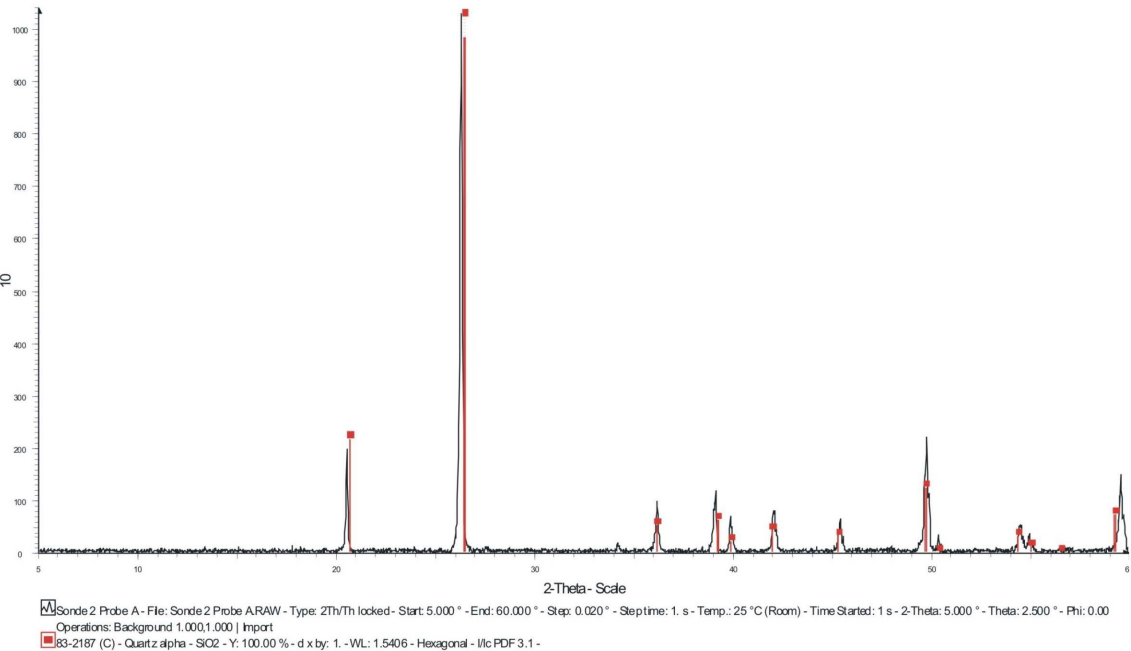
Probe: A
Standort 2

Tiefe: 0,05-1 m
Rechtswert
3456926

Hochwert
6059393

Element	Konzentration
V	1,9 µg/g
Cr	7,5 µg/g
Co	288 µg/g
Ni	< 1,9 µg/g
Cu	3 µg/g
Zn	< 1,5 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	5,1 µg/g
As	2 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	13 µg/g
Rb	12,9 µg/g
Sr	16 µg/g
Y	2,9 µg/g
Zr	172,7 µg/g
Nb	2,6 µg/g
Mo	< 0,4 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	1,6 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2,4 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	11,9 µg/g
Ba	117,7 µg/g
La	20,2 µg/g
Ce	23,2 µg/g
Pr	25 µg/g
Nd	< 3,6 µg/g
Sm	< 1,9 µg/g
Yb	7,5 µg/g
Hf	4,9 µg/g
Ta	< 3,4 µg/g
W	1581 µg/g
Hg	< 3,9 µg/g
Tl	5,2 µg/g
Pb	2,1 µg/g
Bi	2,8 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	2,1 µg/g

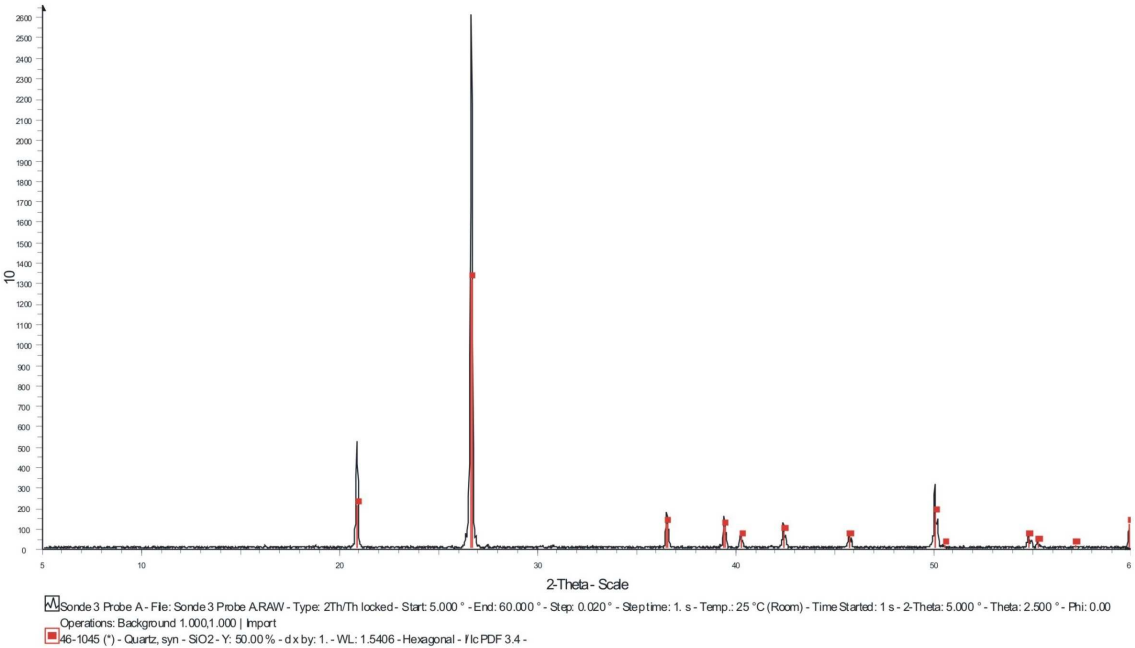
Element	Konzentration
Na2O	0,177 %
MgO	< 0,045 %
Al2O3	1,647 %
SiO2	98,49 %
P2O5	< 0,0033 %
S	0,01138 %
Cl	0,0062 %
K2O	0,5458 %
CaO	0,0706 %
TiO2	0,129 %
MnO	0,00632 %
Fe2O3	0,1849 %



Probe: A
Standort 3
Tiefe: 0,05-0,65 m
Rechtswert
3457419
Hochwert
6058852

Element	Konzentration
V	9,1 µg/g
Cr	14 µg/g
Co	257 µg/g
Ni	1,7 µg/g
Cu	2,8 µg/g
Zn	1,3 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	5,1 µg/g
As	3,2 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	34,4 µg/g
Rb	16,9 µg/g
Sr	19,4 µg/g
Y	2,9 µg/g
Zr	198,1 µg/g
Nb	2,7 µg/g
Mo	< 0,5 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	1,3 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2,4 µg/g
Sb	< 0,4 µg/g
Te	15,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	10,3 µg/g
Ba	145 µg/g
La	21,1 µg/g
Ce	29,3 µg/g
Pr	27,9 µg/g
Nd	< 3,6 µg/g
Sm	< 1,9 µg/g
Yb	3 µg/g
Hf	6,4 µg/g
Ta	< 3,2 µg/g
W	1456 µg/g
Hg	< 3,8 µg/g
Tl	4,3 µg/g
Pb	3,5 µg/g
Bi	1,7 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	1,7 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	< 0,11 %
MgO	< 0,048 %
Al2O3	2,241 %
SiO2	98,71 %
P2O5	0,0072 %
S	0,01871 %
Cl	0,0102 %
K2O	0,6941 %
CaO	0,0849 %
TiO2	0,1628 %
MnO	0,00668 %
Fe2O3	0,4623 %



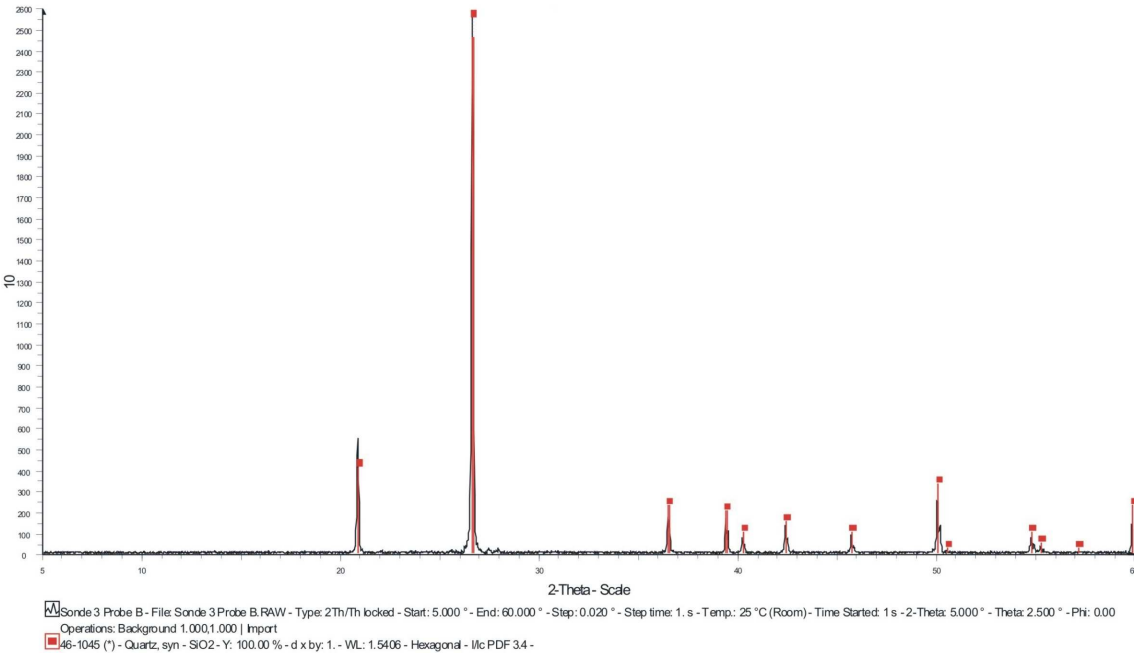
Probe: B
Standort 3

Tiefe: 0,65-0,95 m
Rechtswert
3457419

Hochwert
6058852

Element	Konzentration
V	13,3 µg/g
Cr	14,1 µg/g
Co	151,3 µg/g
Ni	1,9 µg/g
Cu	2,5 µg/g
Zn	12,4 µg/g
Ga	0,7 µg/g
Ge	< 1,7 µg/g
As	2,7 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	82,2 µg/g
Rb	23,6 µg/g
Sr	27,2 µg/g
Y	4,1 µg/g
Zr	205 µg/g
Nb	3,8 µg/g
Mo	< 0,5 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	1 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2,4 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	10,6 µg/g
Ba	166,5 µg/g
La	18,3 µg/g
Ce	30,2 µg/g
Pr	33,6 µg/g
Nd	< 3,3 µg/g
Sm	< 1,8 µg/g
Yb	4,1 µg/g
Hf	4,7 µg/g
Ta	< 2,8 µg/g
W	905,5 µg/g
Hg	< 3,0 µg/g
Tl	3 µg/g
Pb	3,5 µg/g
Bi	1,7 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	1,2 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,241 %
MgO	0,069 %
Al2O3	3,361 %
SiO2	86,7 %
P2O5	0,0081 %
S	0,01988 %
Cl	0,0146 %
K2O	0,8917 %
CaO	0,1497 %
TiO2	0,1844 %
MnO	0,00848 %
Fe2O3	0,96 %



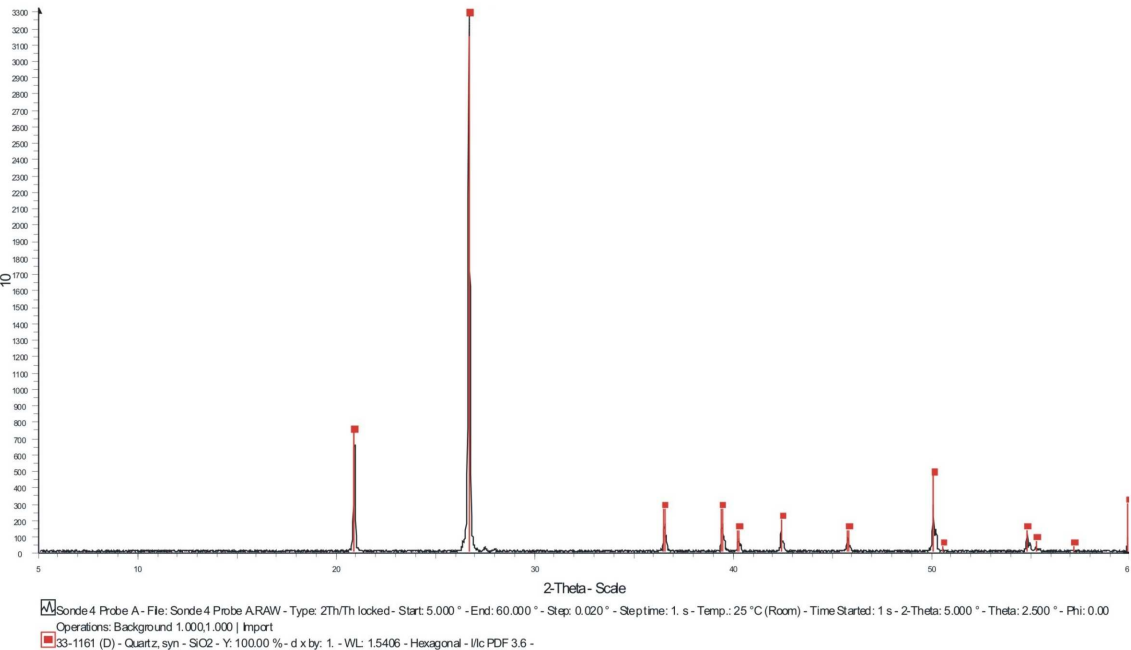
Probe: A
Standort 4

Tiefe: 0,15-0,45 m
Rechtswert
3457317

Hochwert
6058337

Element	Konzentration
V	6,7 µg/g
Cr	15,7 µg/g
Co	224 µg/g
Ni	1,1 µg/g
Cu	1,9 µg/g
Zn	3,1 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	4,3 µg/g
As	2,3 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	8,9 µg/g
Rb	15,3 µg/g
Sr	18,2 µg/g
Y	2,8 µg/g
Zr	217,2 µg/g
Nb	3,5 µg/g
Mo	< 0,4 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	2 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	3,6 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	20,8 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	18,9 µg/g
Ba	143,9 µg/g
La	41 µg/g
Ce	47 µg/g
Pr	60,1 µg/g
Nd	< 3,4 µg/g
Sm	< 1,8 µg/g
Yb	3,3 µg/g
Hf	5,5 µg/g
Ta	< 2,9 µg/g
W	1247 µg/g
Hg	< 3,4 µg/g
Tl	< 0,6 µg/g
Pb	3,8 µg/g
Bi	2,3 µg/g
Th	< 0,9 µg/g
U	2,7 µg/g

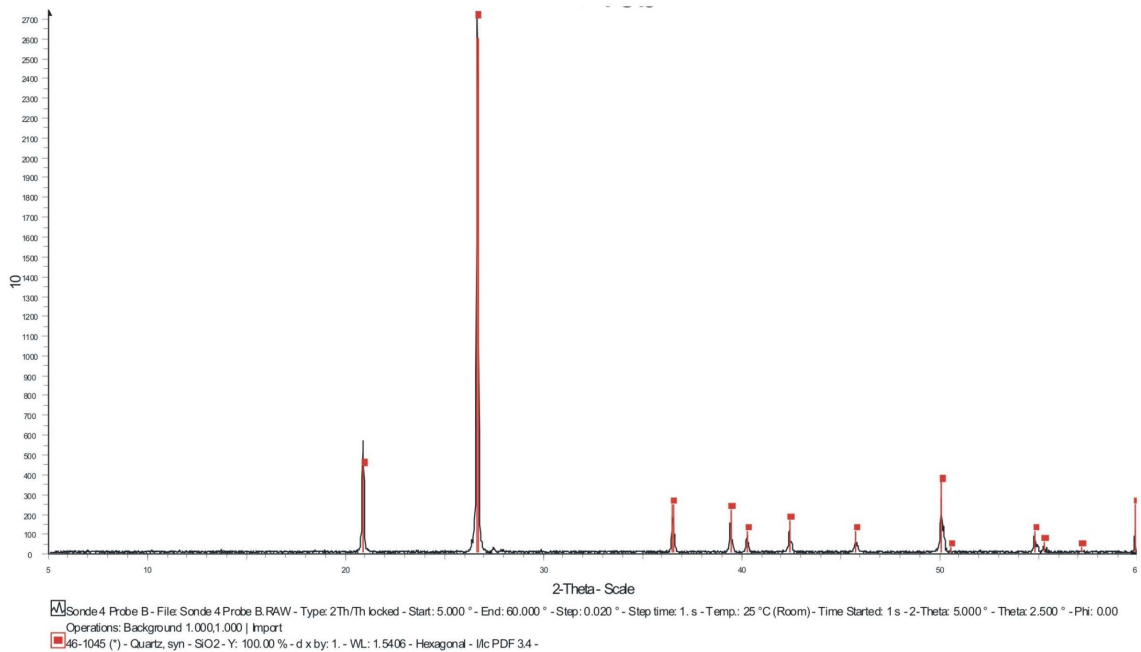
Element	Konzentration
Na2O	< 0,098 %
MgO	< 0,045 %
Al2O3	1,799 %
SiO2	91,17 %
P2O5	< 0,0032 %
S	0,01454 %
Cl	0,00243 %
K2O	0,6143 %
CaO	0,0874 %
TiO2	0,174 %
MnO	0,0077 %
Fe2O3	0,2744 %



Probe: B
Standort 4
Tiefe: 0,45-0,50 m
Rechtswert
3457317
Hochwert
6058337

Element	Konzentration
V	11,2 µg/g
Cr	12,8 µg/g
Co	185,7 µg/g
Ni	1,2 µg/g
Cu	1,8 µg/g
Zn	34 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	1,5 µg/g
As	2,8 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	35,6 µg/g
Rb	18 µg/g
Sr	17,6 µg/g
Y	3,6 µg/g
Zr	199 µg/g
Nb	3,6 µg/g
Mo	< 0,4 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	0,2 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	0,7 µg/g
Sb	1 µg/g
Te	< 1,1 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	1,2 µg/g
Ba	63,4 µg/g
La	5,3 µg/g
Ce	7,4 µg/g
Pr	< 5,4 µg/g
Nd	< 2,6 µg/g
Sm	< 1,5 µg/g
Yb	5 µg/g
Hf	5,9 µg/g
Ta	< 2,8 µg/g
W	1080 µg/g
Hg	< 3,2 µg/g
Tl	3,8 µg/g
Pb	2,8 µg/g
Bi	2,9 µg/g
Th	< 0,9 µg/g
U	< 0,6 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,136 %
MgO	0,0355 %
Al2O3	1,323 %
SiO2	53,96 %
P2O5	0,0161 %
S	0,01761 %
Cl	0,00459 %
K2O	0,5976 %
CaO	0,0802 %
TiO2	0,1592 %
MnO	0,01017 %
Fe2O3	0,6038 %



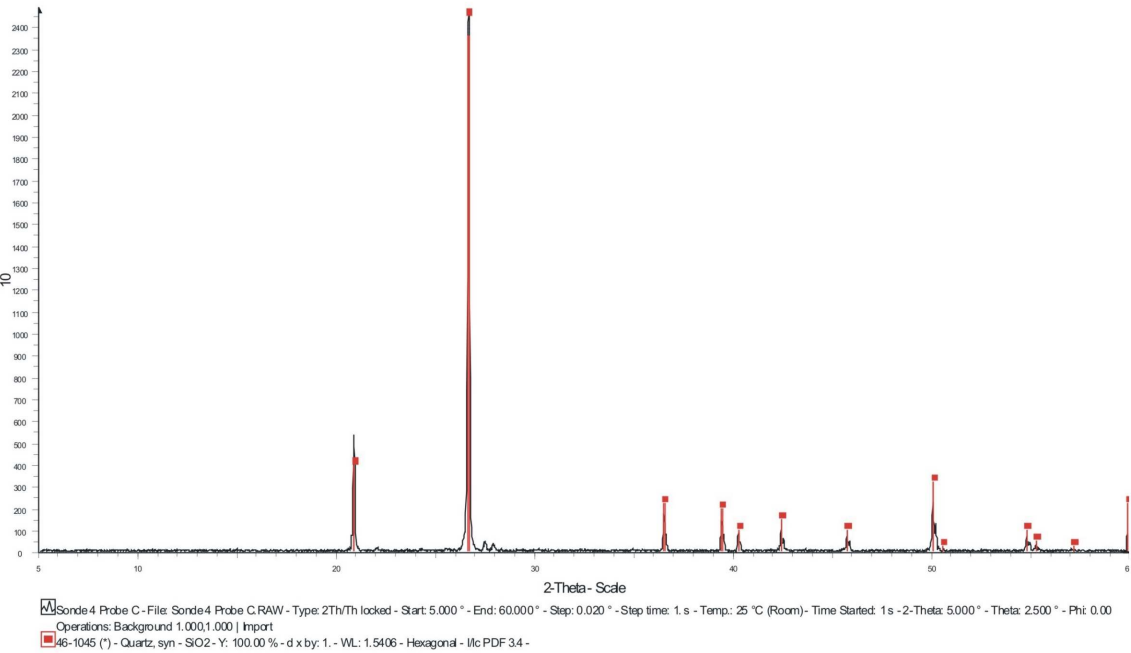
Probe: C
Standort 4

Tiefe: 0,50-0,85 m
Rechtswert
3457317

Hochwert
6058337

Element	Konzentration
V	17,5 µg/g
Cr	19 µg/g
Co	196 µg/g
Ni	2,1 µg/g
Cu	3,4 µg/g
Zn	19,6 µg/g
Ga	1,1 µg/g
Ge	< 2,0 µg/g
As	1,7 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	77,7 µg/g
Rb	27,9 µg/g
Sr	26,8 µg/g
Y	5,3 µg/g
Zr	255,4 µg/g
Nb	4,3 µg/g
Mo	< 0,5 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	1,1 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	2,5 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	10,1 µg/g
Ba	186,3 µg/g
La	19,6 µg/g
Ce	25,8 µg/g
Pr	13,1 µg/g
Nd	< 3,6 µg/g
Sm	< 2,0 µg/g
Yb	5,4 µg/g
Hf	6,2 µg/g
Ta	< 3,1 µg/g
W	1144 µg/g
Hg	< 3,4 µg/g
Tl	3,9 µg/g
Pb	4,1 µg/g
Bi	2,4 µg/g
Th	0,7 µg/g
U	3,1 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,482 %
MgO	0,118 %
Al2O3	3,852 %
SiO2	87,44 %
P2O5	< 0,0037 %
S	0,01677 %
Cl	0,0068 %
K2O	0,9651 %
CaO	0,1374 %
TiO2	0,22 %
MnO	0,01526 %
Fe2O3	1,039 %



Probe: D
Standort 4

Tiefe: 0,85-1 m
Rechtswert
3457317

Hochwert
6058337

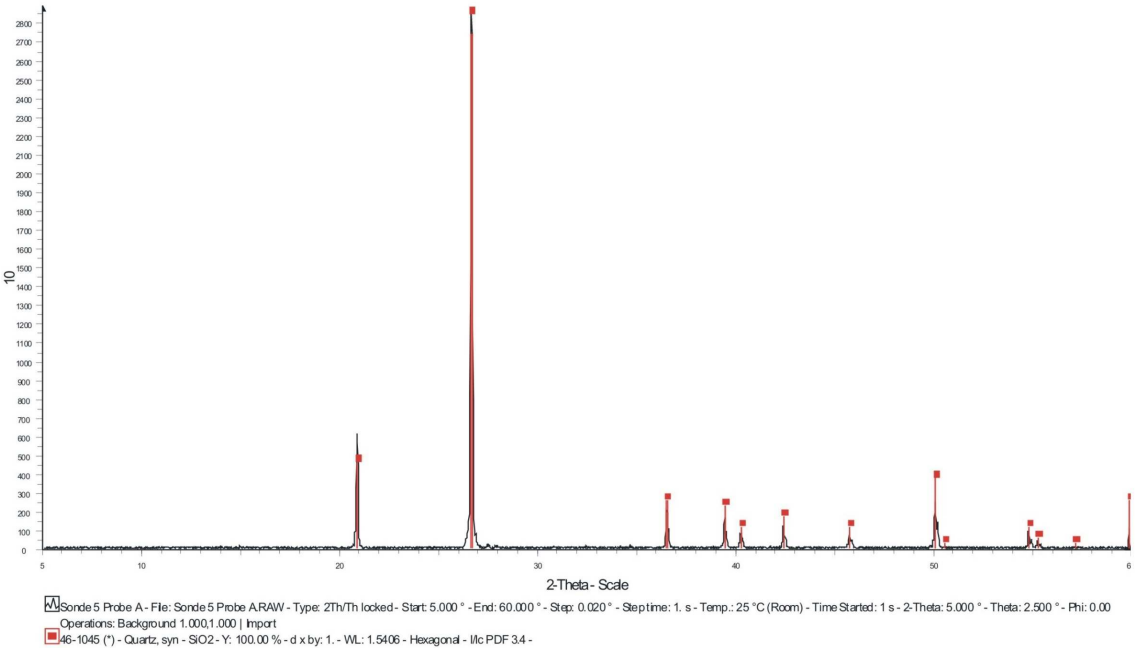
Element	Konzentration
Na2O	0,469 %
MgO	0,199 %
Al2O3	5,013 %
SiO2	92,6 %
P2O5	0,0108 %
S	0,01086 %
Cl	0,0002 %
K2O	1,272 %
CaO	0,2087 %
TiO2	0,373 %
MnO	0,01359 %
Fe2O3	1,365 %

Element	Konzentration
V	30 µg/g
Cr	41,5 µg/g
Co	201 µg/g
Ni	5,1 µg/g
Cu	4,5 µg/g
Zn	18,1 µg/g
Ga	1,2 µg/g
Ge	< 2,1 µg/g
As	2,3 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	46,7 µg/g
Rb	36 µg/g
Sr	39,3 µg/g
Y	11,4 µg/g
Zr	575,3 µg/g
Nb	7,2 µg/g
Mo	< 0,8 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	1,4 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	3,8 µg/g
Sb	< 0,4 µg/g
Te	23,6 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	23,1 µg/g
Ba	276,4 µg/g
La	55,8 µg/g
Ce	80,7 µg/g
Pr	89,7 µg/g
Nd	< 4,0 µg/g
Sm	< 2,2 µg/g
Yb	7,7 µg/g
Hf	14,9 µg/g
Ta	< 3,3 µg/g
W	1166 µg/g
Hg	5,6 µg/g
Tl	< 0,6 µg/g
Pb	7,8 µg/g
Bi	1,8 µg/g
Th	1,5 µg/g
U	5,3 µg/g

Probe: A
Standort 5
Tiefe: 0,15-0,50 m
Rechtswert
3457618
Hochwert
6058109

Element	Konzentration
V	6,2 µg/g
Cr	8 µg/g
Co	284 µg/g
Ni	< 1,8 µg/g
Cu	2,7 µg/g
Zn	1,9 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	5,4 µg/g
As	1,9 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	6,7 µg/g
Rb	13,5 µg/g
Sr	17,5 µg/g
Y	2,1 µg/g
Zr	148,4 µg/g
Nb	2,7 µg/g
Mo	< 0,4 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	1,5 µg/g
In	0,8 µg/g
Sn	2,8 µg/g
Sb	3,5 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	8,6 µg/g
Ba	128 µg/g
La	12,1 µg/g
Ce	15,1 µg/g
Pr	20,9 µg/g
Nd	< 3,5 µg/g
Sm	< 1,9 µg/g
Yb	3,8 µg/g
Hf	5,6 µg/g
Ta	< 3,2 µg/g
W	1525 µg/g
Hg	< 3,8 µg/g
Tl	5 µg/g
Pb	3,8 µg/g
Bi	< 0,8 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	2,6 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,183 %
MgO	< 0,045 %
Al2O3	1,677 %
SiO2	99,75 %
P2O5	0,0058 %
S	0,01317 %
Cl	0,0056 %
K2O	0,5917 %
CaO	0,0798 %
TiO2	0,13 %
MnO	0,00704 %
Fe2O3	0,2604 %



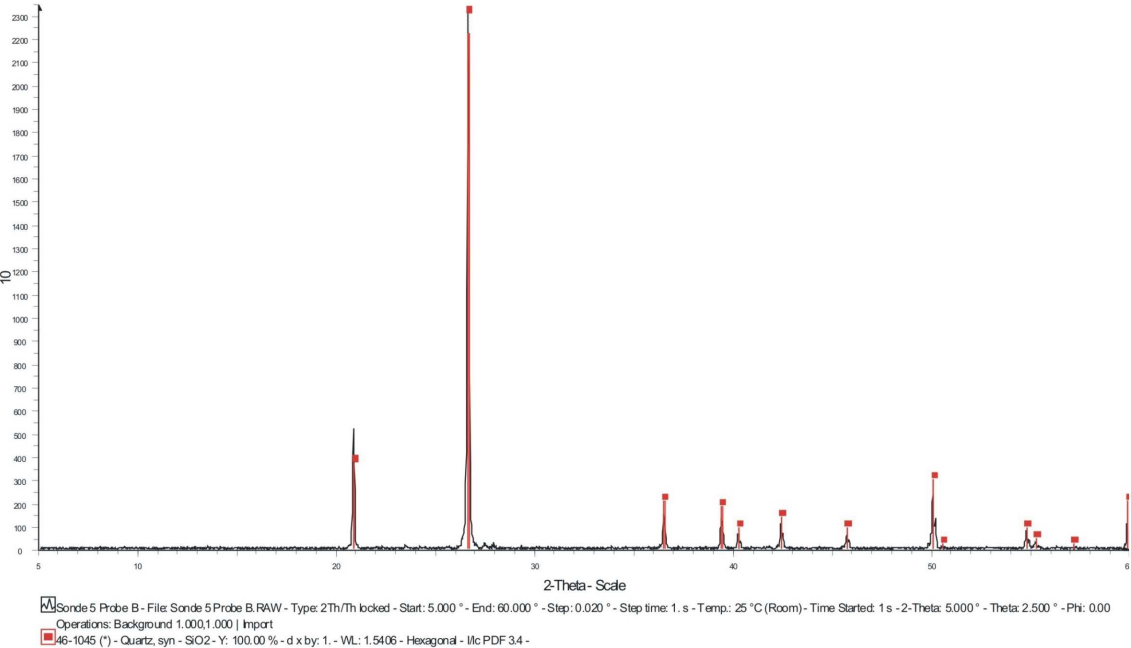
Probe: B
Standort 5

Tiefe: 0,50-0,85 m
Rechtswert
3457618

Hochwert
6058109

Element	Konzentration
V	18,6 µg/g
Cr	20,7 µg/g
Co	277 µg/g
Ni	4,2 µg/g
Cu	4,2 µg/g
Zn	12,1 µg/g
Ga	< 0,4 µg/g
Ge	1,6 µg/g
As	4,8 µg/g
Se	< 0,3 µg/g
Br	27,4 µg/g
Rb	30,3 µg/g
Sr	30,6 µg/g
Y	5,8 µg/g
Zr	355,2 µg/g
Nb	4,7 µg/g
Mo	< 0,6 µg/g
Ag	< 0,4 µg/g
Cd	0,4 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	3,1 µg/g
Sb	4,5 µg/g
Te	< 1,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	16,8 µg/g
Ba	211,9 µg/g
La	36,3 µg/g
Ce	53,3 µg/g
Pr	49,8 µg/g
Nd	< 3,7 µg/g
Sm	< 2,1 µg/g
Yb	5,1 µg/g
Hf	10,3 µg/g
Ta	< 3,4 µg/g
W	1520 µg/g
Hg	7,5 µg/g
Tl	< 0,7 µg/g
Pb	7,8 µg/g
Bi	1,6 µg/g
Th	< 1,0 µg/g
U	2,5 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,367 %
MgO	0,1 %
Al2O3	3,202 %
SiO2	96,12 %
P2O5	0,0094 %
S	0,01608 %
Cl	0,00477 %
K2O	0,9727 %
CaO	0,1506 %
TiO2	0,2652 %
MnO	0,01744 %
Fe2O3	1,416 %



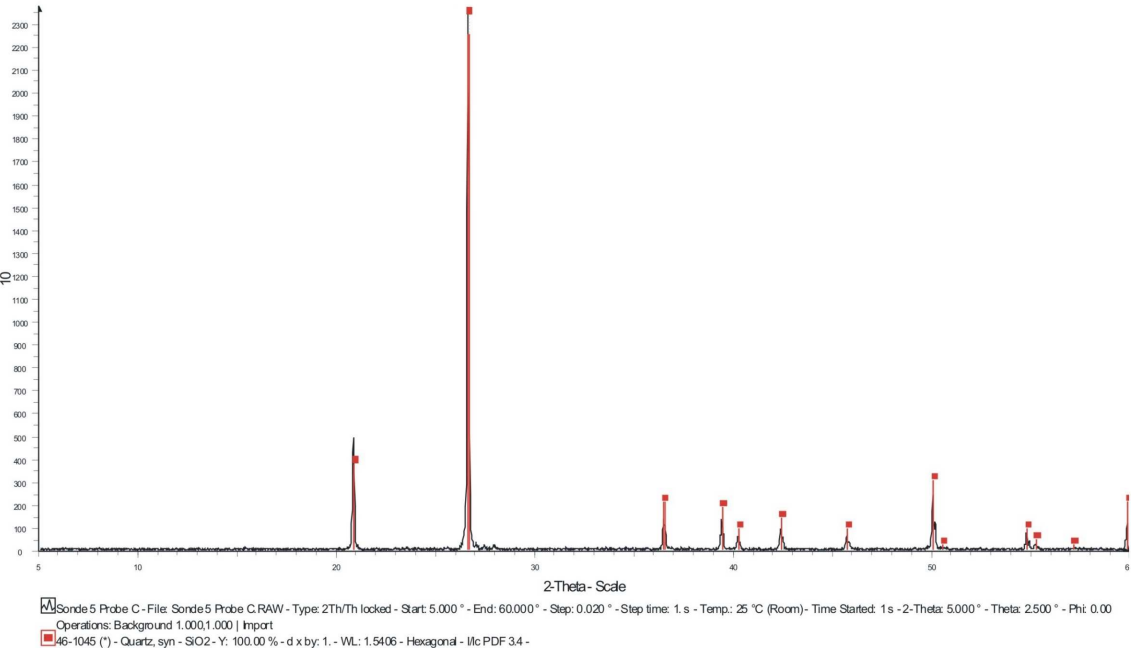
Probe: C
Standort 5

Tiefe: 0,95-1 m
Rechtswert
3457618

Hochwert
6058109

Element	Konzentration
V	23,5 µg/g
Cr	19,8 µg/g
Co	173 µg/g
Ni	7,1 µg/g
Cu	5,5 µg/g
Zn	37,1 µg/g
Ga	0,7 µg/g
Ge	3 µg/g
As	7,2 µg/g
Se	< 0,2 µg/g
Br	29,3 µg/g
Rb	33,2 µg/g
Sr	33,2 µg/g
Y	6,8 µg/g
Zr	302,4 µg/g
Nb	4,2 µg/g
Mo	< 0,6 µg/g
Ag	< 0,3 µg/g
Cd	1,8 µg/g
In	< 0,1 µg/g
Sn	3,3 µg/g
Sb	< 0,3 µg/g
Te	21,3 µg/g
I	< 1,5 µg/g
Cs	17,8 µg/g
Ba	217,5 µg/g
La	43,9 µg/g
Ce	59 µg/g
Pr	49 µg/g
Nd	3 µg/g
Sm	< 2,1 µg/g
Yb	< 2,7 µg/g
Hf	8,9 µg/g
Ta	< 3,2 µg/g
W	1070 µg/g
Hg	< 3,5 µg/g
Tl	3,2 µg/g
Pb	5,1 µg/g
Bi	< 0,9 µg/g
Th	1,9 µg/g
U	4,5 µg/g

Element	Konzentration
Na2O	0,314 %
MgO	0,131 %
Al2O3	4,248 %
SiO2	90,4 %
P2O5	0,0455 %
S	0,01336 %
Cl	0,0102 %
K2O	1,044 %
CaO	0,1653 %
TiO2	0,2378 %
MnO	0,01342 %
Fe2O3	2,123 %



A.5 Theoretische Gezeitenbeschleunigung

Die theoretische Gezeitenbeschleunigung wurde mit der Software T-Soft berechnet.

A.5.1 Raum Koblenz

Berechnet für den Standort	
50,27° N	
7,55° E	
Höhe: 400 m NN	
Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
28.08.2007 02:00	349,28858
28.08.2007 02:30	400,40872
28.08.2007 03:00	473,49873
28.08.2007 03:30	562,40618
28.08.2007 04:00	659,50528
28.08.2007 04:30	756,24697
28.08.2007 05:00	843,77471
28.08.2007 05:30	913,56229
28.08.2007 06:00	958,02887
28.08.2007 06:30	971,08915
28.08.2007 07:00	948,60161
28.08.2007 07:30	888,68569
28.08.2007 08:00	791,88817
28.08.2007 08:30	661,18943
28.08.2007 09:00	501,8509
28.08.2007 09:30	321,11517
28.08.2007 10:00	127,77921
28.08.2007 10:30	-68,33119
28.08.2007 11:00	-256,95249
28.08.2007 11:30	-428,00284
28.08.2007 12:00	-572,19207
28.08.2007 12:30	-681,58516
28.08.2007 13:00	-750,0854
28.08.2007 13:30	-773,80837
28.08.2007 14:00	-751,3246
28.08.2007 14:30	-683,7561
28.08.2007 15:00	-574,72095
28.08.2007 15:30	-430,12857
28.08.2007 16:00	-257,83707
28.08.2007 16:30	-67,1924

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
28.08.2007 17:00	131,52417
28.08.2007 17:30	327,7078
28.08.2007 18:00	511,06476
28.08.2007 18:30	672,23152
28.08.2007 19:00	803,34012
28.08.2007 19:30	898,49397
28.08.2007 20:00	954,12286
28.08.2007 20:30	969,19278
28.08.2007 21:00	945,2546
28.08.2007 21:30	886,32576
28.08.2007 22:00	798,60975
28.08.2007 22:30	690,06946
28.08.2007 23:00	569,88048
28.08.2007 23:30	447,79986
29.08.2007 00:00	333,49234
29.08.2007 00:30	235,86045
29.08.2007 01:00	162,42528
29.08.2007 01:30	118,80228
29.08.2007 02:00	108,30996
29.08.2007 02:30	131,74025
29.08.2007 03:00	187,30766
29.08.2007 03:30	270,78114
29.08.2007 04:00	375,7891
29.08.2007 04:30	494,2754
29.08.2007 05:00	617,07301
29.08.2007 05:30	734,55376
29.08.2007 06:00	837,30764
29.08.2007 06:30	916,80365
29.08.2007 07:00	965,98632
29.08.2007 07:30	979,76781
29.08.2007 08:00	955,38318
29.08.2007 08:30	892,58723
29.08.2007 09:00	793,68201
29.08.2007 09:30	663,37624
29.08.2007 10:00	508,48838
29.08.2007 10:30	337,5152
29.08.2007 11:00	160,0956
29.08.2007 11:30	-13,59492
29.08.2007 12:00	-173,48026
29.08.2007 12:30	-310,21023

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
29.08.2007 13:00	-415,73933
29.08.2007 13:30	-483,82306
29.08.2007 14:00	-510,40224

A.5.2 Amrum

Berechnet für den Standort	54,63° N 8,39° E Höhe: 0 m NN
Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
12.10.2006 05:00	-755
12.10.2006 05:30	-695
12.10.2006 06:00	-617
12.10.2006 06:30	-523
12.10.2006 07:00	-418
12.10.2006 07:30	-304
12.10.2006 08:00	-186
12.10.2006 08:30	-67,9
12.10.2006 09:00	47,3
12.10.2006 09:30	157
12.10.2006 10:00	259
12.10.2006 10:30	351
12.10.2006 11:00	434
12.10.2006 11:30	506
12.10.2006 12:00	568
12.10.2006 12:30	621
12.10.2006 13:00	665
12.10.2006 13:30	703
12.10.2006 14:00	734
12.10.2006 14:30	761
12.10.2006 15:00	783
12.10.2006 15:30	802
12.10.2006 16:00	818
12.10.2006 16:30	831
12.10.2006 17:00	840
12.10.2006 17:30	844
12.10.2006 18:00	842
12.10.2006 18:30	834

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
12.10.2006 19:00	818
12.10.2006 19:30	793
12.10.2006 20:00	758
12.10.2006 20:30	713
12.10.2006 21:00	656
12.10.2006 21:30	588
12.10.2006 22:00	509
12.10.2006 22:30	419
12.10.2006 23:00	321
12.10.2006 23:30	216
13.10.2006 00:00	106
13.10.2006 00:30	-6,18
13.10.2006 01:00	-118
13.10.2006 01:30	-227
13.10.2006 02:00	-330
13.10.2006 02:30	-424
13.10.2006 03:00	-505
13.10.2006 03:30	-572
13.10.2006 04:00	-623
13.10.2006 04:30	-656
13.10.2006 05:00	-670
13.10.2006 05:30	-665
13.10.2006 06:00	-640
13.10.2006 06:30	-598
13.10.2006 07:00	-539
13.10.2006 07:30	-466
13.10.2006 08:00	-380
13.10.2006 08:30	-285
13.10.2006 09:00	-183
13.10.2006 09:30	-77,3
13.10.2006 10:00	29,6
16.10.2006 05:00	73,4
16.10.2006 05:30	0,879
16.10.2006 06:00	-71,9
16.10.2006 06:30	-141
16.10.2006 07:00	-203
16.10.2006 07:30	-253
16.10.2006 08:00	-289
16.10.2006 08:30	-306
16.10.2006 09:00	-305

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
16.10.2006 09:30	-282
16.10.2006 10:00	-239
16.10.2006 10:30	-177
16.10.2006 11:00	-96,8
16.10.2006 11:30	-3,03
16.10.2006 12:00	101
16.10.2006 12:30	211
16.10.2006 13:00	321
16.10.2006 13:30	428
16.10.2006 14:00	526
16.10.2006 14:30	612
16.10.2006 15:00	682
16.10.2006 15:30	734
16.10.2006 16:00	766
16.10.2006 16:30	779
16.10.2006 17:00	772
16.10.2006 17:30	747
16.10.2006 18:00	708
16.10.2006 18:30	657
16.10.2006 19:00	599
16.10.2006 19:30	537
16.10.2006 20:00	476
16.10.2006 20:30	420
16.10.2006 21:00	371
16.10.2006 21:30	333
16.10.2006 22:00	307
16.10.2006 22:30	294
16.10.2006 23:00	294
16.10.2006 23:30	305
22.10.2006 05:00	510
22.10.2006 05:30	619
22.10.2006 06:00	705
22.10.2006 06:30	765
22.10.2006 07:00	800
22.10.2006 07:30	809
22.10.2006 08:00	795
22.10.2006 08:30	762
22.10.2006 09:00	715
22.10.2006 09:30	659
22.10.2006 10:00	602

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
22.10.2006 10:30	548
22.10.2006 11:00	503
22.10.2006 11:30	471
22.10.2006 12:00	455
22.10.2006 12:30	456
22.10.2006 13:00	475
22.10.2006 13:30	509
22.10.2006 14:00	556
22.10.2006 14:30	610
22.10.2006 15:00	666
22.10.2006 15:30	719
22.10.2006 16:00	762
22.10.2006 16:30	790
22.10.2006 17:00	798
22.10.2006 17:30	781
22.10.2006 18:00	737
22.10.2006 18:30	667
22.10.2006 19:00	570
22.10.2006 19:30	450
22.10.2006 20:00	311
22.10.2006 20:30	158
22.10.2006 21:00	-0,831
22.10.2006 21:30	-159
22.10.2006 22:00	-310
22.10.2006 22:30	-445
22.10.2006 23:00	-557
22.10.2006 23:30	-642
23.10.2006 00:00	-695
23.10.2006 00:30	-714
23.10.2006 01:00	-697
23.10.2006 01:30	-646
23.10.2006 02:00	-563
23.10.2006 02:30	-453
23.10.2006 03:00	-320
23.10.2006 03:30	-173
23.10.2006 04:00	-17,8
23.10.2006 04:30	138
23.10.2006 05:00	288
23.10.2006 05:30	426
23.10.2006 06:00	545

Datum	Gezeitenbeschleunigung [nm/s ²]
23.10.2006 06:30	643
23.10.2006 07:00	716
23.10.2006 07:30	764
23.10.2006 08:00	787
23.10.2006 08:30	789
23.10.2006 09:00	771
23.10.2006 09:30	740
23.10.2006 10:00	701
23.10.2006 10:30	658

A.6 Wetterdaten

A.6.1 Raum Koblenz

Die Daten der Wetterstation Koblenz Lay, 125 *m* über *NN* (50° 19'8.65" *N*, 007° 32'23.43" *O*) wurden von R. KRIENKE zur Verfügung gestellt. Aufgelistet werden nur die genutzten Luftdruckdaten.

Daten der Wetterstation Koblenz, Lay	
Datum	Luftdruck [hPa]
28.08.2007 08:05	1020
28.08.2007 09:05	1020
28.08.2007 10:05	1020
28.08.2007 11:05	1020
28.08.2007 12:05	1020
28.08.2007 13:05	1019
28.08.2007 14:05	1018
28.08.2007 15:05	1018
28.08.2007 16:05	1017
28.08.2007 17:05	1017
28.08.2007 18:05	1017
28.08.2007 19:05	1017
28.08.2007 20:05	1017
28.08.2007 21:05	1017
28.08.2007 22:05	1017
28.08.2007 23:05	1016

Datum	Luftdruck [hPa]
29.08.2007 00:05	1016
29.08.2007 01:05	1016
29.08.2007 02:05	1015
29.08.2007 03:06	1015
29.08.2007 04:06	1015
29.08.2007 05:06	1014
29.08.2007 06:06	1014
29.08.2007 07:06	1014
29.08.2007 07:18	1014
29.08.2007 08:06	1014
29.08.2007 09:06	1015
29.08.2007 10:06	1015
29.08.2007 11:06	1015

A.6.2 Amrum

Die Daten der Insel Föhr ($54^{\circ} 42.03' N$, $008^{\circ} 27.36' E$) wurden von A. OHMS zur Verfügung gestellt. Aufgelistet werden nur die genutzten Luftdruckdaten.

Daten der Wetterstation auf Föhr

Datum	Luftdruck [hPa]
12.10.2006 05:00	1014
12.10.2006 06:00	1014
12.10.2006 07:00	1014
12.10.2006 08:00	1015
12.10.2006 09:00	1016
12.10.2006 10:00	1016
12.10.2006 11:00	1016
12.10.2006 12:00	1016
12.10.2006 13:00	1017
12.10.2006 14:00	1017
12.10.2006 15:00	1018
12.10.2006 16:00	1018
12.10.2006 17:00	1019
12.10.2006 18:00	1020
12.10.2006 19:00	1021
12.10.2006 20:00	1021
12.10.2006 21:00	1022

Datum	Luftdruck [hPa]
12.10.2006 22:00	1023
12.10.2006 23:00	1023
13.10.2006 00:00	1024
13.10.2006 01:00	1025
13.10.2006 02:00	1025
13.10.2006 03:00	1025
13.10.2006 04:00	1026
13.10.2006 05:00	1026
13.10.2006 06:00	1026
13.10.2006 07:00	1027
13.10.2006 08:00	1027
16.10.2006 07:00	1026
16.10.2006 08:00	1026
16.10.2006 09:00	1026
16.10.2006 10:00	1026
16.10.2006 11:00	1026
16.10.2006 12:00	1025
16.10.2006 13:00	1024
16.10.2006 14:00	1024
16.10.2006 15:00	1023
16.10.2006 16:00	1023
16.10.2006 17:00	1022
16.10.2006 18:00	1022
16.10.2006 19:00	1021
16.10.2006 20:00	1021
22.10.2006 06:00	997
22.10.2006 07:00	997
22.10.2006 08:00	997
22.10.2006 09:00	997
22.10.2006 10:00	998
22.10.2006 11:00	998
22.10.2006 12:00	998
22.10.2006 13:00	997
22.10.2006 14:00	997
22.10.2006 15:00	997
22.10.2006 16:00	997
22.10.2006 17:00	996
22.10.2006 18:00	997
22.10.2006 19:00	997
22.10.2006 20:00	995

Datum	Luftdruck [hPa]
22.10.2006 21:00	995
22.10.2006 22:00	994
22.10.2006 23:00	993
23.10.2006 00:00	992
23.10.2006 01:00	991
23.10.2006 02:00	990
23.10.2006 03:00	989
23.10.2006 04:00	988
23.10.2006 05:00	986
23.10.2006 06:00	987

A.6.3 Campusstation Essen

Daten der Campusstation Essen ($r^{25}70000$, $h^{57}03870$), des Fachgebietes Angewandte Klimatologie der Universität Duisburg-Essen. Aufgeführt werden nur die genutzten Luftdruckdaten.

Daten der Campusstation Essen	
Datum	Luftdruck [hPa]
22.05.2007 00:00	1010
22.05.2007 01:00	1010
22.05.2007 02:00	1010
22.05.2007 03:00	1010
22.05.2007 04:00	1011
22.05.2007 05:00	1011
22.05.2007 06:00	1011
22.05.2007 07:00	1012
22.05.2007 08:00	1012
22.05.2007 09:00	1013
22.05.2007 10:00	1013
22.05.2007 11:00	1013
22.05.2007 12:00	1012
22.05.2007 13:00	1012
22.05.2007 14:00	1012
22.05.2007 15:00	1012
22.05.2007 16:00	1012
22.05.2007 17:00	1013
22.05.2007 18:00	1013
22.05.2007 19:00	1013

Datum	Luftdruck [hPa]
22.05.2007 20:00	1014
22.05.2007 21:00	1014
22.05.2007 22:00	1015
22.05.2007 23:00	1015
23.05.2007 00:00	1015
23.05.2007 01:00	1015
23.05.2007 02:00	1015
23.05.2007 03:00	1016
23.05.2007 04:00	1016
23.05.2007 05:00	1016
23.05.2007 06:00	1016
23.05.2007 07:00	1016